

LVIV POLYTECHNIC NATIONAL UNIVERSITY
INSTITUTE OF MECHANICAL ENGINEERING AND TRANSPORT
DEPARTMENT OF RAILWAY TRANSPORT



PROCEEDINGS
of the
17th International Scientific and Practical Conference of Students and
Young Scientists named after Heorhii Kirpa
„Modern Transport Technologies”
with the support of a partner «H. M. Kirpa Foundation»



Lviv, 04 December 2025



КАФЕДРА ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ



спеціальність J7 "Залізничний транспорт"

БАКАЛАВРАТ

ФУНКЦІОНАЛЬНІСТЬ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

«Інфраструктура»

«Рухомий склад»

МАГІСТРАТУРА

ФУНКЦІОНАЛЬНА БЕЗПЕКА ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

АСПІРАНТУРА

ЗАЛІЗНИЧНИЙ ТРАНСПОРТ



залізничники
потрібні
завжди!



УДК 656.062
С 89

Редакційна колегія: / Editorial board: Ковальчук В. В., д. т. н., проф.;
Баб'як М. О., к. т. н., доц.; Кравець І. Б., PhD. / V. Kovalchuk, M. Babyak, I.
Kravets

Матеріали 17-ї Міжнародної науково-практичної конференції
С 89 студентів і молодих вчених імені Георгія Кірпи «Сучасні транспортні
технології» / за заг. ред. І. Кравця; м. Львів, 4 грудня 2025 р. – Львів:
Видавництво Львівської політехніки, 2025. – 196 с.
ISBN 978-966-994-128-2

Збірник містить праці 17-ї міжнародної науково-практичної
конференції студентів і молодих вчених імені Георгія Кірпи, яка
проводилась кафедрою «Залізничний транспорт» Національного
університету «Львівська політехніка» 4 грудня 2025 р. Матеріали
публікуються мовою оригіналу в авторській редакції.

УДК 656.062

The proceedings contain the papers of the 17th International Scientific
and Practical Conference of Students and Young Scientists named after
Heorhii Kirpa, which was held by the Department of Railway Transport of
Lviv Polytechnic National University on December 4, 2025. The materials
are published in the original language in the authors' edition.

**Кафедра залізничного транспорту Національного Університету "Львівська
політехніка" щиро дякує за постійну підтримку та забезпечення технічними
засобами Президенту громадської організації «Фонд імені Георгія
Миколайовича Кірпи» Палюху Анатолію Володимировичу та Жанні Ігорівні
Кірпи.**

**Організаційний та науковий комітети висловлюють подяку генеральному
директору ПрАТ «Львівський локомотиворемонтний завод» Павлу
Анатолійовичу Воскобойнику за високий технічний рівень організації
конференції на провідному підприємстві Львова.**

Адреса університету: / Address of University:
79000, Україна, Львів, вулиця Степана Бандери, 12,
79000, Ukraine, Lviv, Stepana Bandera Street, 12.

Програмний комітет конференції / Program Committee

The head of the Program committee:

Vitaly KOVALCHUK – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at the Department of Railway Transport, Lviv Polytechnic National University, Ukraine.

Members of the Program committee:

Bagish YERITSIAN - PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Electric Transport and Diesel Locomotive Engineering, National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute,” Ukraine;

Olena BAL, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Railway Transport, Lviv Polytechnic National University, Ukraine.

Dmytro BOBYR, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Rolling Stock Operation and Management, Ukrainian State University of Science and Technology, Ukraine.

Yaroslav BOLZHELARSKYI, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Railway Transport, Lviv Polytechnic National University, Ukraine.

Iryna BONDARENKO, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor at the Department of Railway Transport, Lviv Polytechnic National University, Ukraine.

Ivan VARHOLIAK, Deputy Head of the Technical Service, Regional Branch “Lviv Railway,” Ukraine.

Oksana VOZNIUK, PhD in Pedagogical Sciences, Associate Professor, Professor at the Department of Military History, Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy, Ukraine.

Oleh VOZNIAK, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Transport Technologies, Lviv Polytechnic National University, Ukraine.

Pavlo VOSKOBOINYK, General Director, PJSC “Lviv Locomotive Repair Plant,” Ukraine (by consent).

Yuliia HERMANIUK, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Transport Technologies, Lviv Polytechnic National University, Ukraine.

Piotr GOŁĘBIOWSKI, PhD (Eng.), Department of Transport Systems Engineering and Logistics, Warsaw University of Technology, Poland.

Oleksandr HOROBCHENKO, Doctor of Technical Sciences, Professor, Deputy Director of the Kyiv Institute of Railway Transport, National Transport University, Ukraine.

Ivan HRUNYK, PhD in Technical Sciences, Director of the Lviv Professional College of Transport Infrastructure, Lviv Polytechnic National University, Ukraine.

Volodymyr DYMYTRIUK, PhD in Historical Sciences, Director of the Chernivtsi Professional Transport College, Ukraine.

Roman KACHMAR, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Director of the Institute of Mechanical Engineering and Transport, Lviv Polytechnic National University, Ukraine.

Andrii KYRYKOVYCH, Director of Amadeus-Marine Company, Ukraine.

Mykola KUZIN, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at the Department of Computational Mathematics and Programming, Lviv Polytechnic National University, Ukraine.

Ihor MARTYNOV, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Wagon Engineering and Product Quality, Ukrainian State University of Railway Transport, Ukraine.

Olena PINCHUK, PhD in Economics, Director of R&D Company “UKRTRANSAKAD”, Ukraine.

Łukasz RYMANIAK, Dr. Hab. Eng., Professor at the Department of Internal Combustion Engines, Poznan University of Technology, Poland.

Serhii ROI, Director of Mykolaiv Locomotive Repair Plant LLC, Ukraine.

Матеріали Сімнадцятої міжнародної науково-практичної конференції студентів та молодих вчених імені Г. М. Кірпи «Сучасні транспортні технології»

Proceedings of the Seventeenth International Student Scientific and Practical Conference of Students and Young Scientists named after Heorhii Kirpa „Modern Transport Technologies”

Mykola SYSYN, Dr.-Ing., Division of Track Superstructure and Railway Track Technology, Technical University of Dresden, Germany.

Volodymyr TVERDOMED, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Acting Director of the Educational and Research Kyiv Institute of Railway Transport, National Transport University, Ukraine.

Anatolii FALENDYSH, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at the Department of Railway Transport, Lviv Polytechnic National University, Ukraine.

Viačeslav PETRENKO, Lecturer, Department of Mobile Machinery and Railway Transport, Faculty of Transport Engineering, Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania.

Natalia SZYMLET, PhD (Eng.), Institute of Powertrains and Aviation, Poznan University of Technology, Poland (by consent).

Організаційний комітет / Organizing Committee

The head of the Organizing committee:

Mykola BABYAK – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Railway Transport, Lviv Polytechnic National University, Ukraine;

Members of the organizing committee:

Anatolii PALIUKH, President of the Public Organization “Heorhii Mykolaiovych Kirpa Foundation”, Ukraine

Nazar KOSTIV, Student, Group ZTBT-12, Lviv Polytechnic National University, Ukraine;

Ivan KRAVETS, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Railway Transport, Lviv Polytechnic National University, Ukraine;

Andrii KUZYSHYN, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Deputy Director of the Institute of Mechanical Engineering and Transport, Lviv Polytechnic National University, Ukraine;

Vadym SAVCHUK, Student, Group LG-31sp, Lviv Polytechnic National University, Ukraine;

Yuliia SOBOLEVSKA, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Railway Transport, Lviv Polytechnic National University, Ukraine;

Yuriy TERESHCHAK, PhD in Technical Sciences, Associate Professor Department of Railway Transport, Lviv Polytechnic National University, Ukraine.

ГРОМАДСЬКА ОРГАНІЗАЦІЯ „Фонд імені Георгія Миколайовича Кірпи”



**Герой України,
Кірпи Георгій Миколайович
1946-2004 р.**

Людина епохи.

Георгій Миколайович Кірпи увійшов в історію як видатний державний діяч та реформатор, чия енергія та стратегічне мислення заклали фундамент для сучасної залізничної інфраструктури України. Його інноваційний підхід до модернізації транспортної галузі, реалізація масштабних проектів швидкісного руху та будівництво вокзальних комплексів світового рівня стали еталоном ефективного управління. Для сучасної студентської молоді постать Г.М. Кірпи є прикладом безмежної відданості професії та символом відродження престижу залізничної справи.

ОСНОВНА МЕТА ДІЯЛЬНОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ:

- задоволення та захист законних соціальних, економічних, творчих, вікових, національно-культурних та інших спільних інтересів своїх членів;
- сприяння розвитку галузі залізничного транспорту;
- популяризації залізничних професій;
- вшанування пам'яті видатних залізничників та інше.

Контакти ГО „Фонд імені Георгія Миколайовича Кірпи”

тел. (+38 044) 406-99-99

E-mail: fond@fondkirpa.com.ua

CONTENTS / ЗМІСТ

Секція «Функціональність залізничного транспорту»

Section «Functionality of railway transport»

Sobczak Jakub

ISSUES RELATED TO THE ASSESSMENT OF ACTUAL EMISSIONS OF
HARMFUL COMPOUNDS FROM RAIL VEHICLES IN TERMS OF TYPE-
APPROVAL REGULATIONS.....17

Sobczak Jakub, Woźniak Krystian, Łuczak Mikołaj, Adam Garczarek

EVALUATION OF THE METHODOLOGY FOR TYPE-APPROVAL TESTING OF
MAGNETIC FIELDS IN RAIL TRANSPORT18

Nisiewicz P.

MODIFICATION OF BRAKING SYSTEMS IN RAILWAY CARGO WAGONS:
IMPLICATIONS OF THE INCREASED USE OF COMPOSITE BRAKE BLOCKS.....20

Tomasz Albrecht

SELECTION OF RESEARCH METHODS FOR ASSESSING THE GEOMETRIC
STABILITY OF TURNOUTS IN HIGH-SPEED RAILWAYS.....21

Łukasz Stępniewski

INNOVATIVE MAINTENANCE OF PASSENGER CARRIAGES BASED ON THE
ASSUMPTIONS OF INDUSTRY 4.0.....22

Zbigniew Cichoński

MODULAR ARCHITECTURE OF HYDROGEN DRIVES IN RAIL TRANSPORT
– DESIGN FLEXIBILITY AND IMPACT ON OPERATION23

Теплий Б. С.

КОМПЛЕКСНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЛАВНОСТІ РУХУ ШВИДКІСНОГО
РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦІ В СИСТЕМІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ
РУХУ23

Швець Ю. А.

РОЗРОБКА СТРУКТУРИ СИСТЕМИ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ
ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА НА ДІЛЯНКАХ
ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ СХИЛЬНИХ ДО ЗАЛИШКОВИХ ДЕФОРМАЦІЙ
У ВІДПОВІДНОСТІ ДО EN 16907.....24

Макауз Р. О.

КОМПЛЕКСНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДИНАМІЧНОГО
НАВАНТАЖЕННЯ ВІД РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦІ НА НАПРУЖЕНО-
ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ШПАЛ ІЗ ВРАХУВАННЯМ
ВИМОГ ДСТУ EN 1323026

Данчишин В. М.

РОЗВИТОК МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ ТА ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ
ФУНКЦІОНУВАННЯ ХРЕСТОВИХ СТІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ В
ЕКСПЛУАТАЦІЇ ІЗ ВРАХУВАННЯМ ОСНОВНИХ ПОЛОЖЕНЬ ДСТУ EN
13232-127

Лесів Назар

ДОСЛІДЖЕННЯ КОМФОРТНОСТІ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ПАСАЖИРІВ
ШВИДКІСНИМ ДИЗЕЛЬ-ПОЇЗДОМ У ПРИМІСЬКОМУ СПОЛУЧЕННІ
ЛЬВІВСЬКОЇ ЗАЛІЗНИЦІ28

Депяк Ю. Ю.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО
СТАНУ РЕЙОК БЕЗСТИКОВОЇ КОЛІЇ З'ЄДНАНИХ АЛЮМОТЕРМІЧНОЮ
ЗВАРКОЮ ПРИ ДІЇ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ ІЗ ВРАХУВАННЯМ ВИМОГ
ДСТУ EN 14587.....29

Андрес О. А.

ОЦІНКА ВПЛИВУ СИСТЕМИ ПАСИВНОГО ЗАХИСТУ СУЧАСНИХ
ШВИДКІСНИХ ПОЇЗДІВ НА ЇХ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА БЕЗПЕКУ У
ВІДПОВІДНОСТІ ДО ДСТУ-EN 1522730

Василик В. І.

РОЗВИТОК МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СТУПЕНЮ
УЩІЛЬНЕННЯ БАЛАСТНОГО ШАРУ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ З
ВИКОРИСТАННЯМ ІНЕРЦІЙНИХ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ У
ВІДПОВІДНОСТІ ДО ДСТУ EN 13450.....31

Бойчук Д. А.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ СУЧАСНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ РЕМОНТУ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ В ДЕПО Л З МЕТОЮ
ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ32

Дубковецький Д. М.

КОМПЛЕКСНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ
ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ НА БЕЗПЕКУ РУХУ ПОЇЗДІВ.....33

Мандрик Д. І.

КОМПЛЕКСНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РІВНЯ ШУМУ ВІД ТЯГОВОГО
РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦІ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ
ВІДПОВІДНО ДО ВИМОГ TSI NOISE34

Колодяжний І. В.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕРГОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ КАБІНИ МАШИНІСТА
СУЧАСНОГО ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ ВІДПОВІДНО ДО ВИМОГ
ЄС35

Авдєєв Г. І.

ПРОПОЗИЦІЇ ПО СКОРОЧЕННЮ ВИТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ПРИ
ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ36

Вадим Савчук

МОДЕРНІЗАЦІЯ МАНЕВРОВИХ ЛОКОМОТИВІВ ДЛЯ ПРОДОВЖЕННЯ
ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ38

Мартиненко Д. І.

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КОЛІСНИХ ПАР ВАНТАЖНИХ
ВАГОНІВ В УМОВАХ ІНТЕНСИВНИХ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ.....39

Нєвєров Д. М.

СУЧАСНІ МЕТОДИ ВИПРОБУВАНЬ СПЕЦІАЛЬНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ
НА БАЗІ МАШИНИ DUOMATIS 09-3240

Мартиненко В. І.

МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ТА ХОДОВИХ
ЯКОСТЕЙ ВАНТАЖНОГО ВАГОНА42

Бурак Р. Р.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКЦІЇ СТІЛОЧНОГО ПЕРЕВОДУ НА
ДИНАМІКУ РУХОМОГО СКЛАДУ43

Газдун М. М.

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ГЕОТЕКСТИЛЮ В КОНСТРУКЦІЇ ЗЕМЛЯНОГО
ПОЛОТНА ЗАЛІЗНИЦЬ45

Галич Р. В.

ВПРОВАДЖЕННЯ МЕТОДІВ З ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ ПОЇЗДІВ НА
СТАНЦІЯХ ЛЬВІВСЬКОГО РЕГІОНУ46

Заяць Р. Ю.

ВПРОВАДЖЕННЯ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ
ПЛІТЕЙ БЕЗСТИКОВОЇ КОЛІЇ В УМОВАХ ЛЬВІВСЬКОЇ ЗАЛІЗНИЦІ47

Жінчин Ю. А.

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТЯГОВИХ РЕДУКТОРІВ ЕЛЕКТРОВОЗІВ ЧС-8
ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ РІЗНИХ ЗМАЗОК.....49

Сторожук О. С.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГАЛЬМІВНОЇ СИСТЕМИ
ЕЛЕКТРОПОЇЗДІВ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ НОВИХ ГАЛЬМІВНИХ
КОЛОДОК50

Андросюк О. А.

ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ РЕМОНТНИХ РОБІТ ТА ЇХ ВАРТОСТІ ПРИ
ОЦІНЦІ ВАРТОСТІ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ТЕПЛОВОЗІВ ТИПУ М62.....51

Рак В. Р.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО ВИБОРУ ГАЛЬМІВНИХ СИСТЕМ ДЛЯ РЕЙКОВИХ
ВАГОНІВ МІЖНАРОДНОГО СПОЛУЧЕННЯ.....52

Комарницький В. В.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПІДХОДІВ ПО ВИЗНАЧЕННЮ
НАВАНТАЖЕННЯ РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ.....53

Перетятко Ю. Я.

МОДЕЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ СТАНУ МАНЕВРОВОГО ТЕПЛОВОЗУ ПРОТЯГОМ
СТРОКУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПРИ ВИКОНАННІ МАНЕВРОВОЇ РОБОТИ.....55

Мичка Б. В.

ВИЗНАЧЕННЯ ГАЛЬМІВНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ ТЕПЛОВОЗІВ
ЧМЕЗ ДЛЯ РОБОТИ В ПРИКОРДОННИХ ОБЛАСТЯХ56

Дибка О. Т.

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ДІАГНОСТИКИ ТА МОНІТОРИНГУ ТЕХНІЧНОГО
СТАНУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА.....57

Савич О. О.

ПОРЯДОК ВСТАНОВЛЕННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙ ПО ПІДВИЩЕННЮ
ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА58

Ткачук М. С.

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПРИСТРОЇВ
ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ НА ОСНОВІ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ
ДІАГНОСТИКИ ТА КОНТРОЛЮ59

Кубрак А. В.

МОДЕЛІ ОБМІНУ ДАНИМИ МІЖ СТРУКТУРНИМИ ПІДРОЗДІЛАМИ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ60

Рибаченко Я. М.

МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ КОМУНІКАЦІЯМИ У КЛАСИЧНИХ І ГНУЧКИХ
ПІДХОДАХ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЄКТІВ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ62

Рябчинський А. М.

МОДЕЛЮВАННЯ ПОТОКІВ ДАНИХ І ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИГНАЛІВ У
СИСТЕМАХ МОНІТОРИНГУ СИЛОВОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ63

Троянівський В. І.

РОЛЬ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАЛІЗНИЦЬ64

Гринько М. О.

МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ АНОМАЛІЙ У ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖАХ
СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ66

Гаптар Г. О.

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ ТЕПЛОВОЗІВ СЕРІЇ М62
ВІДПОВІДНО ДО ВИМОГ ІНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТІ67

Корчовий В. А.

АРХІТЕКТУРА КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ ТА ВУЗЛИ
АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ В СИСТЕМАХ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ68

Канафоцький Тарас

ЦИФРОВІЗАЦІЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ПАСАЖИРСЬКИХ
ВАГОНІВ: СУЧАСНІ ПІДХОДИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ69

Лапуга Н. І.

ОЦІНКА ЕНЕРГОЄМНОСТІ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ПОГЛИНАЛЬНИХ
АПАРАТІВ ЗАЛІЗНИЧНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ ВІДПОВІДНО ДО
СТАНДАРТІВ ЄС ТА РЕГЛАМЕНТІВ БЕЗПЕКИ71

Романський А. О.

АНАЛІЗ ТА ПОРІВНЯННЯ ХАРАКТЕРИСТИК І ПОКАЗНИКІВ КОЛІСНИХ
ПАР ВАГОНІВ КОЛІЇ 1435/1520 ММ ВИГОТОВЛЕНИХ ПО РІЗНИХ
НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТАХ73

Песюк А. М., Батіг А. В.

АНАЛІЗ ТА ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ ВІТЧИЗНЯНИХ СИСТЕМ
МОНІТОРИНГУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ РУХОМОГО СКЛАДУ ВІДПОВІДНО
ДО ЄВРОПЕЙСЬКИХ ВИМОГ TSI ТА СТАНДАРТІВ EN74

Федюк М.М.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ
ПОШКОДЖЕНЬ КОЛІСНИХ ПАР ВАГОНІВ НА ОСНОВІ СТАНДАРТІВ ЄС
ТА ТЕХНОЛОГІЙ ПРОГНОЗНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ.....75

Винницький Р. Б., Батіг А. В.

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ВПРОВАДЖЕННЯ СУЧАСНИХ СИСТЕМ
ТА КОМПЛЕКСІВ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ, МОНІТОРИНГУ ТА ОЦІНКИ
БЕЗПЕКИ ЗА ТЕХНІЧНИМ СТАНОМ СПЕЦІАЛЬНОГО РУХОМОГО
СКЛАДУ АТ "УКРЗАЛІЗНИЦЯ"76

Добровольський М. Р., Батіг А. В.

ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ ВАГОНІВ ВІДПОВІДНО ДО EN 14363 З
РОЗРОБКОЮ АЛГОРИТМУ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ.....78

Тибінка М. М.

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ГВИНТОВОЇ СТЯЖКИ
ЄВРОПЕЙСЬКОГО ЗРАЗКА НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ80

Куриляк Р. В.

ВИКОРИСТАННЯ 3D ДРУКУ ТЕРМОСТІЙКИМ ПЛАСТИКОМ В РЕМОНТІ
ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ В УМОВАХ
ЛОКОМОТИВНИХ ДЕПО.....81

Ванзар В. М., Лягу Г. В.

ФУНКЦІОНАЛЬНІСТЬ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ – ТЕХНОЛОГІЧНА
КОНВЕРГЕНЦІЯ83

Маковічук В. В.

ФУНКЦІОНАЛЬНІСТЬ І СТАН ЗАЛІЗНИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ В
ЧЕРНІЄЦЬКОМУ РЕГІОНІ84

Мацібора Ю. І., Стурза С. О.

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЗМАЩЕННЯ ТОЧКИ КОНТАКТУ ГРЕБЕНІВ
ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІС І БОКОВОЇ ГРАНІ РЕЙКИ НА ПОКРАЩЕННЯ
ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ЯКОСТЕЙ РУХОМОГО СКЛАДУ І КОЛІЇ.....86

Томинець В. В.

УДОСКОНАЛЕННЯ ДІАГНОСТУВАННЯ СИЛОВОГО КОЛА ЕЛЕКТРОВОЗА
ЗМІННОГО СТРУМУ ВЛ8087

Коцюмбас Н. О., Біленко А. Ю.

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ВИЯВЛЕННЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ МЕХАНІЧНОЇ
ЧАСТИНИ ЕЛЕКТРОВОЗА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ88

Сільваші А. І., Чимров М. Є.

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ВИЯВЛЕННЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ В
ЕЛЕКТРИЧНІЙ СХЕМІ ДОПОМІЖНИХ МАШИН ЕЛЕКТРОВОЗА ВЛ1089

Притула І. С., Дмитрієв О. Ю.

УДОСКОНАЛЕННЯ ДІАГНОСТУВАННЯ СИЛОВОГО КОЛА ЕЛЕКТРОВОЗА
ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ВЛ1190

Славич В. В.

ОЦІНКА РІВНЯ ШУМУ В КАБІНІ МАШИНІСТА ВІДПОВІДНО ДО LOC&PAS
TSI.....91

Романишин С. Я.

АНАЛІЗ ДОСТУПНОСТІ ВОКЗАЛУ СТАНЦІЇ ЛЬВІВ ДЛЯ
МАЛОМОБІЛЬНИХ ГРУП НАСЕЛЕННЯ ВІДПОВІДНО ДО НАЦІОНАЛЬНИХ
ТА ЄВРОПЕЙСЬКИХ ВИМОГ92

Мелешко М. М.

АНАЛІЗ ВІДПОВІДНОСТІ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДІЛЯНКИ ЗАЛІЗНИЧНОЇ
КОЛІЇ ЄВРОПЕЙСЬКИМ ВИМОГАМ БЕЗПЕКИ ТА СУМІСНОСТІ93

Мелешко В. М.

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ НА
ОСНОВІ НАТУРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ94

Секція «Євроінтеграція залізничного транспорту»

Section «European integration of railway transport»

Іванов Р. В.

МОДЕРНІЗАЦІЯ НАЯВНИХ ПЕРЕЇЗДІВ НА НАПРЯМКАХ БУДІВНИЦТВА
В УКРАЇНІ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ ЄВРОПЕЙСЬКОГО СТАНДАРТУ96

Прокопенко П.М., Хаїров С.В.

АНАЛІЗ МІЦНІСНИХ ПАРАМЕТРІВ ПЕРСПЕКТИВНОЇ КОНСТРУКЦІЇ
ВАГОНА-ЗЕРНОВОЗА ДЛЯ КРАЇН ЄС.....98

Вознюк О. М.

ЄВРОІНТЕГРАЦІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ В УМОВАХ СУЧАСНОЇ
РОСІЙСЬКО-УКРАЇНСЬКОЇ ВІЙНИ.....100

Борисовський О. М.

TSI-БАЗОВАНА ОЦІНКА ВІДПОВІДНОСТІ ДЛЯ ІНФРАСТРУКТУРНИХ
ПРОЄКТІВ: ДІЛЬНИЦЯ МОСТИСЬКА–СКНИЛІВ.....101

Завируха А. І.

АНАЛІЗ ВІДПОВІДНОСТІ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ПРИ БУДІВНИЦТВІ КОЛІЇ
НА ДІЛЯНЦІ «УЖГОРОД–ЧОП» ВИМОГАМ СУМІСНОСТІ ВІДПОВІДНО
ДО TSI INF.....102

Український А.С., Томенчук В.В.

КОНЦЕПЦІЯ СУЧАСНОГО ПРИКОРДОННОГО ВОКЗАЛУ ЯК
МІЖНАРОДНОГО ХАБУ103

Секція «Інжиніринг криз та ризиків транспортних послуг»

Section «Crisis and risk management in transport services»

Орловська О. В.

МЕТОД СВРА ЯК ІНСТРУМЕНТ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ ЩОДО
РЕКОНСТРУКЦІЇ ЗАЛІЗНИЧНОГО ПЕРЕЇЗДУ106

Борис Н. Б.

РИЗИК-ОРІЄНТОВАНА ОЦІНКА ІНФРАСТРУКТУРИ ЗАЛІЗНИЦЬ ДЛЯ ТЕН-Т ...107

Кучерявий В. В.

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ДЛЯ РОЗРОБКИ
ШЛЯХІ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ НА ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕЇЗДАХ108

Пироженко І. С.

ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКУ СХОДУ З РЕЙОК РУХОМОГО СКЛАДУ ПРИ
ВИЯВЛЕНІ ПОШКОДЖЕНЬ ВЕРХНЬОЇ БУДОВИ КОЛІЇ МЕТОДОМ
ПОБУДОВИ ДЕРЕВА ПОДІЙ.....109

Ольга Жогло

ПСИХОЛОГІЧНІ ЧИННИКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕРСОНАЛУ У
ВИСОКОРИЗИКОВИХ УМОВАХ ТРАНСПОРТНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ.....110

Костюк В. В.

ВПРОВАДЖЕННЯ МЕТОДУ КЕРУВАННЯ РИЗИКАМИ RCM У СИСТЕМУ
ТЕХНІЧНОГО ОГЛЯДУ ТЕПЛОВОЗІВ112

Секція «Сучасні транспортні технології та логістика процесу перевезень»

Section «Modern transport technologies and logistics»

Szulc Samuel, Dudarenko Olha

INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN THE DESIGN OF RAILWAY BUFFER
STOPS.....114

Olszewski Arkadiusz, Sosyk Andrii

RAIL NOISE AND VIBRATION MITIGATION: EVALUATION OF THE SA-25
SOLUTION.....115

Бандрівський П. П.

НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ПРИМІСЬКИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В
УКРАЇНІ.....116

Маслиган А. М.

АНАЛІЗ ТА ОЦІНКА ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА
СУМІСНОСТІ СИСТЕМ ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО УПРАВЛІННЯ У
ТРАНСКОРДОННОМУ РУСІ117

Коцаба Р. А.

ОЦІНКА ТА ПРИВЕДЕННЯ РІВНЯ ШУМОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ НА
СОРТУВАЛЬНІЙ ГІРЦІ ДО УМОВ ОПЕРАЦІЙНОЇ СУМІСНОСТІ.....119

Ковалик Р. В.

АНАЛІЗ СТАНУ ТРАНСПОРТНОЇ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ ТА ОРГАНІЗАЦІЇ
ТРАНСКОРДОННИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УМОВАХ
ВІЙСЬКОВОЇ АГРЕСІЇ121

Богуславський Д.С., Никитин О.О., Андрієнко Я. Д.

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РУХОМОГО СКЛАДУ
ПІДПРИЄМСТВА124

Василишин А. В.

ІНТЕГРАЦІЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ЗАЛІЗНИЧНИЙ ТРАНСПОРТ126

Столяренко Т. В.

СУЧАСНІ КОНЦЕПЦІЇ ТА ПРАКТИКИ ОРГАНІЗАЦІЇ ЗМІШАНИХ
МІЖНАРОДНИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ128

Ковалишин В. В., Федунь Т. І.

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО АНАЛІЗУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ РОБОТИ
МІСЬКОГО ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ НА ОСНОВІ ЧАСОВИХ
РЯДІВ ТА ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ.....129

Миронюк І. І.

МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ ХОЛОДОВИХ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ У
ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ ДЛЯ ЕКСПОРТУ УКРАЇНСЬКОЇ
ПРОДУКЦІЇ.....131

Літош І. О.

СУЧАСНІ МЕТОДИ ОРГАНІЗАЦІЇ РУХУ ПОЇЗДІВ У СКЛАДНИХ
ІНФРАСТРУКТУРНИХ УМОВАХ.....133

Грищенко А. В.

ВПЛИВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ РУХОМ НА
ЗМЕНШЕННЯ ТОКСИЧНИХ ВИКИДІВ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ134

Секція «Транспортна інженерія»

Section «Transport Engineering»

Slawomir Kolodziejcki, Tomasz Buśkiewicz

THE CONCEPT OF MICROFILTRATION OF HYDRAULIC OIL IN RAIL
VEHICLES FOR USE IN RAILWAY INFRASTRUCTURE.....137

Agata Zamorska

MODERN MEASUREMENT TECHNOLOGIES IN THE MAINTENANCE
PROCESS OF TRAM INFRASTRUCTURE137

Oliwia Kropisz

WHERE SPEED MEETS HEAT: THE PRECISION ENGINEERING OF
FORMULA1138

Ratajczyk F.

INTEGRATION OF MODERN ENGINEERING TECHNOLOGIES IN THE
REVITALIZATION OF A MONUMENT OF ENGINEERING ART.....139

Терещук М. П., Пашкевич Ю. Я.

ВИПРОБУВАННЯ НЕСНИХ КОНСТРУКЦІЙ СПЕЦІАЛЬНОГО
САМОХІДНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ З ГІДРАВЛІЧНОЮ КРАНОВО-
МАНІПУЛЯТОРНОЮ УСТАНОВКОЮ ЗА МЕЖАМИ НОРМАТИВНОГО
СТРОКУ СЛУЖБИ140

Терещук М. П.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗГІНАЛЬНИХ ДЕФОРМАЦІЙ РАМИ ДРЕЗИНИ
ВАНТАЖНОЇ КРАНОВОЇ З МЕТОЮ ВИЯВЛЕННЯ ПРИЧИН ЇХ
ВИНИКНЕННЯ142

Риковцев О. І.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОГИНІВ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК МОСТА
ПІДСИЛЕНИХ МЕТИЛМЕТАКРИЛАТНИМИ КОМПОЗИЦІЯМИ ПРИ ДІЇ
ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ144

Юлія Лесів

УДОСКОНАЛЕНИЙ МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ КОЕФІЦІЄНТА
АВАРІЙНОСТІ НА ЗАЛІЗНИЧНИХ ПІШОХІДНИХ ПЕРЕХОДАХ.....145

Гавриляк А. Р., Кузін М. О.

ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНИХ СПІВВІДНОШЕНЬ ОПИСУ ТЕХНІЧНОГО
СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ СТРУКТУРНИМИ
НЕДОСКОНАЛОСТЯМИ147

Горобець Є. В.

ОЦІНКА ГРАНИЦІ ВИТРИВАЛОСТІ МАТЕРІАЛУ НЕСУЧИХ
КОНСТРУКЦІЙ РЕЙКОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ149

Бірюков С. В., Чухліб В. Л.

АНАЛІЗ ТА ПОРІВНЯННЯ ТЯГОВИХ ПЕРЕДАЧ РІЗНИХ КЛАСІВ, ЯКІ
ЗАСТОСОВУЄТЬСЯ НА ВІЗКАХ РУХОМОГО СКЛАДУ МЕТРОПОЛІТЕНУ150

Фомін О.В., Козинка О.С., Іванченко Д. А.

ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛАСТОМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ
ДИНАМІЧНИХ НАПРУЖЕНЬ У КОНСТРУКЦІЯХ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ.....151

Дмитричук І. Б., Тенсіна С. С.

ГЕОДЕЗИЧНІ ВИШУКУВАННЯ ЯК ОСНОВА РЕКОНСТРУКЦІЇ
ПРОМІЖНОЇ ЗАЛІЗНИЧНОЇ СТАНЦІЇ153

Пелех В. П.

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ АВТОМАТИЧНИХ ТА МЕХАНІЧНИХ
КОРОБОК ПЕРЕМИКАННЯ ПЕРЕДАЧ.....154

Черкашин І. А., Шевченко С. І., Полупан Є. В.

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ С-С ФРИКЦІЙНИХ
МАТЕРІАЛІВ 4D СТРУКТУРИ АРМУВАННЯ ДЛЯ ГАЛЬМІВНИХ СИСТЕМ156

Качан А. В.

ВИЗНАЧЕННЯ ТИПУ ЛІТІЙ-ІОННИХ КОМІРОК ДЛЯ ПРОМИСЛОВОГО
МАНЕВРОВОГО АКУМУЛЯТОРНОГО ЛОКОМОТИВУ158

Перепелиця К. М., Ключник С. В.

ОСОБЛИВОСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ ІНВЕНТАРНИХ НАПЛАВНИХ
КОНСТРУКЦІЙ ЗА ВАНТАЖОПІДЙОМНІСТЮ З УРАХУВАННЯМ
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИКЛИКІВ СЬОГОДЕННЯ160

Корда Б. О.

ШТУЧНІ НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ: ЗАСТОСУВАННЯ В ДІАГНОСТУВАННІ
СИСТЕМ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ162

Буряк М. Г.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЧАСТОТИ НА
РІВЕНЬ ГАРМОНІК ВИХІДНОГО СТРУМУ164

Торгашов В. Ю.

ЗАХИСТ КОЛЕКТОРА ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ДВИГУНІВ ВІД
ПОШКОДЖЕННЯ ДУГОВИМ РОЗРЯДОМ165

Ярухін Ю. Ю.

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ
ХАРАКТЕРИСТИК СТАЛЕВОЇ Й КОМПОЗИТНОЇ АРМАТУРИ ДЛЯ
ЗАЛІЗНИЧНИХ КОНСТРУКЦІЙ165

Архипов О. В.

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ПОСЛАБЛЕННЯ ЗБУДЖЕННЯ НА МЕХАНІЧНІ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА.....167

Цимбал О. С.

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ЗАСОБІВ ДІАГНОСТУВАННЯ СИЛОВИХ
ТРАНСФОРМАТОРІВ ТЯГОВИХ ПІДСТАНЦІЙ.....168

Роговський В. О.

СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА УКРЗАЛІЗНИЦІ169

Данак О. Ю.

ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОНІТОРИНГУ
ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ В СИСТЕМАХ ТЯГОВОГО
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ170

Анайко Д. О.

НАДІЙНІСТЬ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ НЕТЯГОВИХ СПОЖИВАЧІВ
ЗАЛІЗНИЦЬ ЗМІННОГО СТРУМУ171

Проскурняк А. В.

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ КАСКАДНИХ ЗБОЇВ У СИСТЕМАХ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ В УМОВАХ
ВОЄННИХ ЗАГРОЗ.....172

Білецька А. В.

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ
РУХОМОГО СКЛАДУ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ ІНТЕРНЕТУ
РЕЧЕЙ173

Башуцький І. Я.

КРИТИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ТА ІННОВАЦІЙНІ ВИМОГИ ДО
МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ175

Мартиненко В. І.

ПОРІВНЯННЯ КОНСТРУКТИВНИХ СХЕМ СПИРАННЯ КУЗОВА
ВАНТАЖНОГО ВАГОНА ТА ПОШУК ОПТИМАЛЬНОГО ВАРІАНТУ
БІЧНИХ ОПОР176

Стензя Д. В.

ТЕОРЕТИЧНА ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ УЛАШТУВАННЯ БЕЗСТИКОВОЇ
КОЛІЇ У КРИВИХ МАЛОГО РАДІУСА177

Носулько В. В.

VAMPIRE PRO: СУЧАСНИЙ ІНСТРУМЕНТ ДЛЯ ДИНАМІЧНОГО
МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗУ ЗАЛІЗНИЧНИХ СИСТЕМ179

**Секція «Екологічна безпека та охорона праці»
Section «Environmental safety and occupational health»**

Piotr Pielecha

ANALYSIS OF POTENTIAL ENVIRONMENTAL BENEFITS FROM
INTRODUCING A CLEAN TRANSPORT ZONE BASED ON SELECTED AREA
IN THE CITY OF POZNAŃ183

Родіонов М. М.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ТА ЕНЕРГОСТІЙКОСТІ ТРАНСПОРТНОЇ
ІНФРАСТРУКТУРИ У ВОЄННИЙ ПЕРІОД183

Гарасимчук М. П.

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ185

Кас'яненко Я. М.

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ
ТРАНСПОРТІ187

Ніколін І. А.

ВПЛИВ СТРЕСУ ПІД ЧАС ВІЙНИ НА БЕЗПЕКУ ПРАЦІ188

Секція «Функціональність залізничного транспорту»
Section «Functionality of railway transport»

ISSUES RELATED TO THE ASSESSMENT OF ACTUAL EMISSIONS OF HARMFUL COMPOUNDS FROM RAIL VEHICLES IN TERMS OF TYPE-APPROVAL REGULATIONS

M.Sc. Eng. Sobczak Jakub^{1,2}

¹*Lukasiewicz Research Network – Poznan Institute of Technology*

²*Doctoral School, Poznan University of Technology*

The European Union is constantly striving to reduce the negative impact of human activity on the environment. The development of rail transport is one of the ways to deal with excessive emissions of harmful compounds into the atmosphere in the transport sector. Although the total share of CO₂ emissions from rail transport in relation to the entire transport sector is 0.4%, this does not mean that it does not pose a threat to the environment. Railway stations are largely located in city centres, and railway lines very often pass through densely populated urban areas, under viaducts where there is heavy pedestrian traffic. This infrastructure layout exposes people to exhaust fumes emitted by diesel rail vehicles, which, according to studies, temporarily emit about 4-11 times more toxic compounds than passenger vehicles.

An analysis of the literature on type-approval testing of various vehicle groups indicates that current type-approval tests performed on engine brakes are unable to reflect the actual emission values of harmful compounds. In the case of rail traction vehicles, it has also been shown that tests on engine brakes do not reflect actual operating conditions. Technological developments in recent years have made it possible to conduct research under the actual operating conditions of various means of transport. It is therefore possible to conduct empirical research in this area. The issues presented contributed to the implementation of tests aimed at assessing the compliance of type-approval regulations with the actual emissions of harmful compounds from rail vehicles.

In order to achieve the objective of the study, measurements of harmful compound concentrations from the exhaust systems of two vehicles were taken under actual operating conditions. The research used PEMS equipment, which recorded data on the content of harmful compounds in exhaust gases during measurement cycles and simultaneously recorded the operating parameters of the drive units in the facilities. The first stage of the research was to measure the concentrations of harmful compounds in test facility A, which involved driving during actual operation of the facility, i.e. during passenger service on the agglomeration railway line connecting Wolsztyn and Poznań. This journey was carried out in the form of eco-driving, which consisted of avoiding sudden acceleration and deceleration. The next stage of the research was to measure the concentrations of harmful compounds at test facility B. In the case of this facility, the measurements were taken on a test track in Węglewo near Żmigród, where the actual journey of a vehicle between stations on one of the regional railway lines in the Wielkopolska Province was simulated. In this case, the driving style was standard, which consisted of reaching the maximum speed of the facility as quickly as possible and then braking until it came to a stop. Based on the operating parameters of the vehicles, the mass flow of exhaust gases was determined, which was the starting point for determining the emissions of harmful compounds from both tested facilities.

In order to verify the compliance of the type-approval regulations with actual operation, the time density characteristics in speed and acceleration ranges and the time density characteristics as a function of engine crankshaft speed and torque were prepared. The next stage of the analysis was to prepare time density characteristics as a function of engine operating parameters for NRSC and NRTC type-approval tests. These characteristics were prepared on the basis of the denormalisation of type-approval tests in accordance with the methodology presented in the third chapter of the thesis. The final stage of the analysis of operating parameters was to determine the measurement windows in accordance with the procedure described in EU Commission Regulation 2017/655. Based on the measurement windows created, the number of measurement windows compliant with the requirements of European standards was determined.

The intensity of harmful emissions from rail vehicles in functions identical to those in the analysis of vehicle operating parameters was also analysed. Subsequently, unit emissions were determined, which allowed the obtained values of exhaust emissions from rail vehicles in real operating conditions to be compared with those set out in European standards.

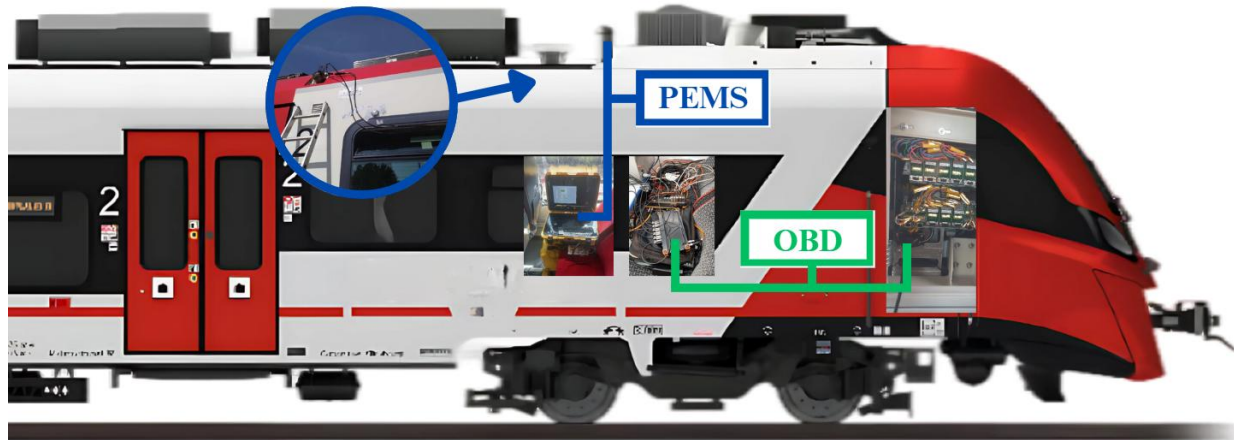


Diagram showing the connection of research equipment on the research object

The results obtained for the share of operating time in type-approval tests in relation to the share of operating time in real conditions allow us to conclude that the current test cycles are not able to reflect actual operation. One of the important aspects contributing to the negative result is the fact that drive units are approved for a much wider range of rotational speeds than those at which they actually operate in specific vehicles or machines. This was particularly noticeable for test object A, where the crankshaft speed range above the maximum speed in real conditions was 65.99%, which clearly indicates non-compliance with the type-approval test. Discrepancies were also found in the results of the analysis of the number of compliant measurement windows from tests under actual conditions. Approval standards require 50% of valid measurement windows to be achieved, in which the average useful power is at least 20%. In the case of rail vehicles, due to the nature of their operation, significantly higher average useful power values are achieved in the measurement windows, caused, for example, by the continuous operation of the combustion engine at railway stations to service functional systems.

EVALUATION OF THE METHODOLOGY FOR TYPE-APPROVAL TESTING OF MAGNETIC FIELDS IN RAIL TRANSPORT

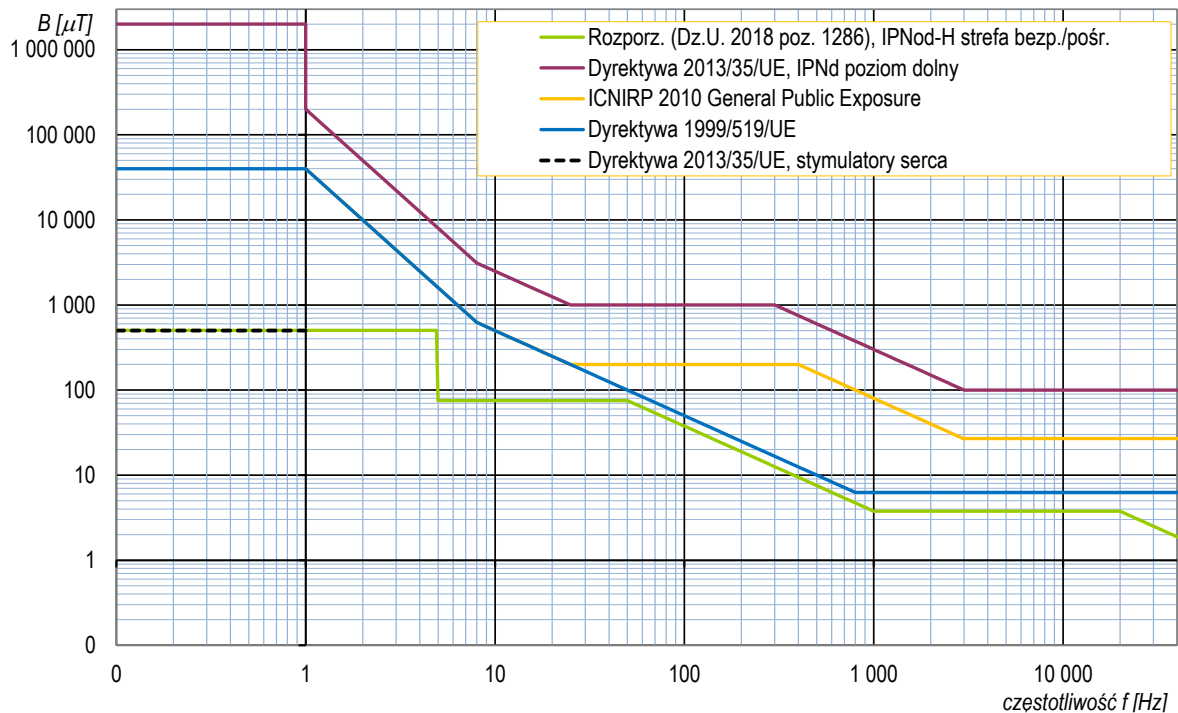
M.Sc. Eng. Sobczak Jakub^{1,2}, M.Sc. Woźniak Krystian^{1,2}, M.Sc. Eng. Łuczak Mikołaj¹, M.Sc. Eng. Adam Garczarek¹

¹*Lukasiewicz Research Network – Poznan Institute of Technology*

²*Doctoral School, Poznan University of Technology*

Rail transport has a fundamental role in the functioning of modern Europe, both in terms of passenger mobility and freight transport. Every day, thousands of rail vehicles travel on European tracks, ensuring the continuity of passenger and freight transport. The dynamic development of this sector, as well as the need to ensure a high level of safety and reliability, necessitate the use of rigorous conformity assessment procedures for new vehicles entering the market and older vehicles undergoing modernisation. One of the key areas of these procedures are the electromagnetic compatibility (EMC) requirements defined in the European TSI (Technical Specifications for Interoperability). Compliance with EMC requirements is intended to eliminate the risk of interference with on-board equipment and railway infrastructure, as well

as to ensure that the electromagnetic fields generated by vehicles do not exceed the permissible exposure levels.



Research equipment – AC Field Analyzer

Magnetic field testing plays an important role in the EMC test set. EU Commission Regulation 1302/2014 refers to the EN:50500 standard, which requires verification of the magnetic field level in the vicinity of a rail vehicle, both when stationary and in motion, in order to assess the potential impact on humans. Low-frequency magnetic fields are primarily generated by the flow of traction currents, the power supply to drive systems and the operation of auxiliary electrical components. The nature of these changes varies and depends, among other things, on the type of vehicle, the drive technology used and the operating conditions.

In order to assess the requirements set out in the standards for magnetic fields generated by electrical equipment in rail vehicles, more than 30 tests were carried out on various types of rail vehicles (locomotives, multiple units, carriages) in accordance with the requirements of

EN:50500. For each vehicle, measurement points were determined depending on the specification of the location of electrical components in the vehicle. The alternating magnetic field test was performed using measuring equipment consisting of a NARDA magnetic field meter capable of measuring alternating magnetic fields in the frequency range from 5 Hz to 32 kHz.

Based on the analyses of the measurements of the alternating magnetic field intensity within the range specified by the standards, it was found that in the measurement range between 10kHz and 20kHz (which is the value to which tests should currently be carried out in accordance with EN:50500), there were no exceedances of the permissible magnetic field intensities, and the intensities were so low that they would not have a negative impact on humans. On this basis, it was concluded that it is possible to reduce the measurement range established in EN:50500 from 20kHz to 10kHz, which would significantly simplify the process of assessing the conformity of rail vehicles in terms of magnetic field testing. The testing of variable magnetic fields would not affect the reliability of the results obtained.

MODIFICATION OF BRAKING SYSTEMS IN RAILWAY CARGO WAGONS: IMPLICATIONS OF THE INCREASED USE OF COMPOSITE BRAKE BLOCKS

Nisiewicz P.

Scientific supervisor: Wojciech Sawczuk Ph.D.

Doctoral School, Poznan University of Technology, Poland

Brake systems constitute a fundamental element in ensuring railway safety. The primary type of brakes used in freight wagons are block brakes, which have historically employed both cast-iron and composite blocks. In recent years, alongside the development of environmental requirements and the implementation of noise reduction policies, particularly in the context of so-called “quiet routes” in European Union countries, there has been a significant increase in the use of composite brake blocks in Central and Western Europe, capable of reducing noise by 10-15 dB. For instance, in Poland, the share of wagons equipped with composite blocks increased from 6.4% to 33% over a five-year period. Due to the ongoing development of material technologies, the diversity of available solutions, and the growing application of composite blocks, their characteristics and the technical, economic, and environmental consequences of their increasing use have become increasingly important.

Traditional cast-iron brake blocks, although fully compatible with existing systems and reliable at low speeds and in low temperatures, have several operational drawbacks. They are heavy (13 kg), generate high noise levels (92-96 dB), accelerate the wear of wheels (0.7-0.9 mm/100,000 km) and of the brake blocks themselves (21-80 mm/100,000 km), and emit the highest levels of PM10 particulate matter (2.65-28.66 g/km per axle). Despite good heat dissipation (30-40%), their performance profiles and characteristics do not meet current operational and regulatory expectations.

In response to these challenges, composite brake blocks are increasingly being implemented. Three types of blocks can be distinguished: type K (requiring modifications to existing brake systems), type L (used exclusively in passenger rolling stock), and type LL (the simplest to implement as a direct replacement for cast-iron blocks). Their main advantages include noise reduction (often by 10-15 dB), weight reduction of 5-9 kg per block, 40-60% lower wear of the brake blocks, and improved braking effectiveness at high speeds. These benefits are particularly relevant in modern transport operations, where environmental standards and system performance are of critical importance.

However, the transition to composite blocks entails significant consequences. For example, type K blocks require substantial changes to the wagon's brake system, with adaptation costs ranging from €4,000 to €10,000 per wagon. They are also characterised by low heat dissipation (~5%), leading to higher thermal loads on wheels and a potential 10-110% increase in tread

wear. Additionally, braking effectiveness decreases at low speeds (<40 km/h) and in low temperatures, which must be considered in system design and operational planning. Type LL composite blocks provide a simpler modernisation option, with lower adaptation costs ($\sim\text{€}2,000$ per wagon) and direct compatibility with existing systems, although they have similar issues related to increased thermal loading and reduced braking effectiveness at low speeds.

The increasing use of composite brake blocks in freight wagons emphasises a clear trend towards balancing improvements in environmental, maintenance, and operational performance with the engineering and economic challenges associated with modifying brake systems. Railway operators and engineers must carefully assess these trade-offs when planning fleet modernisation, as the adoption of composite technology requires both technical adjustments and strategic investments to maintain safety, performance, and long-term cost-effectiveness.

SELECTION OF RESEARCH METHODS FOR ASSESSING THE GEOMETRIC STABILITY OF TURNOUTS IN HIGH-SPEED RAILWAYS

Tomasz Albrecht

*Silesian University of Technology, Faculty of Transport and Aviation Engineering,
Department of Railway Engineering, Gliwice, Poland*

Railway turnouts, as complex superstructures, require a thorough understanding of their design and a proper assessment of the dynamic interactions with the rail vehicle – wheel-rail contact. In railway systems, the turnout is one of the most important safety-related components. Many advanced turnout systems incorporate advanced drives and locking devices designed to rigidly maintain the critical element, the railway switch blades. As the supplest element, the switch blades, depending on the turnout design, are held in one or more places (in the case of turnouts up to 350 km/h, this can be as many as 8-12 points). However, the analysis and research conducted have shown that there are areas of the switch blades that differ significantly in stiffness from the rest of the structure. The assessment of horizontal interactions between the switch blade and the vehicle, in particular, provides interesting observations. Horizontal interactions are described by the theory of conicity of wheel motion on a single vehicle axle. The theory of equivalent conicity provides the basis for determining the most realistic description of wheel-rail motion. Equivalent conicity is defined as the actual wheel-rail contact point and is expressed numerically as the tangent (or γ_e) of the cone angle of a wheel with a conical profile. Measurements should demonstrate the nature of the interactions described in the theory in practice.

The research aimed to identify the least rigid zones of a railway turnout, identify research methods for verifying abnormal behavior, and compare different types of railway turnout structures. Two zones were identified that may be most susceptible to deformation related to dynamic wheel-rail interactions (measurements were taken while the train passed through the turnout). The first zone is the beginning of the switch - blade toe, and the second zone is the area between the last point holding the switchblade (the locking device) and the first rigid mounting system (usually at the end of the switch). During the research and development of research methods, two methods were identified that yielded the best results in assessing the specific behavior of the railway turnout structure and the behavior of rail vehicles and wagons. The first method was based on the use of acceleration sensors. The second method involved designing special mounts for displacement sensors to assess rail motion. Paradoxically, the use of both methods provided significant coverage for assessing various vibration and displacement frequencies. All sensors were mounted in the railway track (specifically, in the turnout). The tests were carried out on the CMK railway line (central railway line), where trains run at speeds of up to 200 km/h (in the future, the speed on this section is to be increased to 250 km/h).

The results of the conducted research were interesting due to the variety of conclusions, depending on the research method discussed. The first method allowed us to observe and

evaluate the behavior of rail vehicles. Acceleration assessment clearly identified vehicles, their types, and damaged components of the train undercarriage system. Acceleration sensors provided significant potential for assessing vehicle behavior, but somewhat less so for assessing railway turnouts and switchblades. The second method, however, clearly allowed for assessing the quality of railway turnout design and switchblade stability. During the research, two types of railway turnouts (from different manufacturers) with the same geometry, a radius of R500 and a slope of 1:12 (design speed of 250 km/h), were observed. Both designs, when compared directly, yielded completely different results in terms of stability and stiffness. The conducted research allowed for the observation of the behavior of critical points of the turnout in interaction with rail vehicles. The research revealed flaws and problems related to maintaining the stability of the turnout geometry during train passage. The methods highlighted and the analyses conducted so far have highlighted the potential for further research.

INNOVATIVE MAINTENANCE OF PASSENGER CARRIAGES BASED ON THE ASSUMPTIONS OF INDUSTRY 4.0.

Łukasz Stępniewski

Principal investigator: Wojciech Sawczak, PhD, DSc, Prof. PUT

Poznań University of Technology, Faculty of Civil and Transport Engineering, Poland

In the era of dynamic development of rail transport and the growing demand for reliability, availability and safety of passenger transport, traditional rolling stock maintenance systems are becoming insufficient and generate high operating costs. Their main disadvantage is that they operate on rigid criteria and review cycles.

Although there are already numerous solutions on the market referred to as "modern rolling stock maintenance systems", in practice most of them represent only a partial digitization of traditional processes and do not fully meet the potential of Industry 4.0. They are typically limited to island sensor deployments or simple diagnostic platforms that do not integrate data from all on-board and ground devices, create a coherent digital twin of the wagon, or close the full decision-making loop. As a result, the huge amounts of data collected are not processed in a practical way from a maintenance point of view. There is a lack of automatic generation of repair orders, dynamic ordering of parts in ERP systems or active optimization of workshop schedules.

As a consequence, even advanced systems on the market still force manual decisions, do not fully eliminate unplanned downtime and do not ensure real autonomy of the maintenance process, leaving a significant gap between the declared "predictability" and the real operational and financial benefits of carriers. In view of such a situation, the authors propose a completely new solution based on a comprehensive concept of an innovative maintenance system. Predictive machine learning models are at the core of the proposed system, which is designed to implement Industry 4.0.

The solution is based on a multi-layered, scalable architecture integrating key technologies of the fourth industrial revolution, i.e. an extensive network of sensors and measuring devices both on and behind the vehicle, a digital twin, RFID readers, machine learning algorithms, a class cloud platform integrated with ERP, PDM, augmented reality glasses systems. With deep, bidirectional integration of all layers from physical sensors to cloud and enterprise systems.

Thanks to such a solution, the system will not only be able to predict failures many weeks in advance, but also automatically start repair processes by integrating with ERP systems. Ordering parts and optimizing workshop work schedules will create a closed loop of intelligent, autonomous maintenance of passenger rolling stock.

MODULAR ARCHITECTURE OF HYDROGEN DRIVES IN RAIL TRANSPORT – DESIGN FLEXIBILITY AND IMPACT ON OPERATION

Zbigniew Cichoński

Scientific supervisor: Prof. Dr Hab. Eng. Paweł Fuć

Faculty of Civil and Transport Engineering, Poznan University of Technology, Poland

The transformation of rail transport towards zero emissions strategy requires the implementation of innovative drive solutions that combine high energy efficiency with reliability and optimal life cycle costs. Hydrogen powertrains are becoming a key technology in this process, but their design and operation are associated with a number of technical challenges. One of the most promising developments is the use of a modular hydrogen drive architecture, which allows the system to be flexibly adapted to different vehicle platforms and significantly affects the maintenance and maintenance process.

The presentation will present the concept of modularity in the design of hydrogen drives, including the division of the system into functional modules: fuel cells, hydrogen storage, battery powerpacks, control systems, energy management systems and auxiliary elements. The key benefits of this approach will be discussed, including power scalability, adaptability to vehicles with different traction requirements, and simplification of the integration process with innovative rail vehicle platforms.

Particular attention was paid to design aspects related to the optimization of module parameters, their standardization and impact on system security. An important element of the presentation will be the analysis of the impact of modular architecture on the operation of vehicles. Modularity allows for reduced service time, quick component replacement and improved fleet availability.

The economic benefits resulting from reduced maintenance costs and increased operational efficiency throughout the life cycle of the vehicle will be indicated. The presentation will also address the challenges of implementing a modular architecture, such as the need to standardize interfaces and integrate with digital twins to support the design and monitoring process.

The aim of the presentation is to show how modularity can become the foundation for the design of innovative, flexible and economically viable hydrogen drives in rail transport, while increasing reliability, reducing service times and reducing vehicle life cycle costs. The topic is in line with the current trends in the development of modern technologies in transport and is an important step towards sustainable mobility.

КОМПЛЕКСНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЛАВНОСТІ РУХУ ШВИДКІСНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦІ В СИСТЕМІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ

Теплий Б. С., студент групи ЗТБТ-22

Науковий керівник: Ковальчук В. В., д.т.н., проф.

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

Comprehensive studies of the ride smoothness of a modern diesel train under operating conditions were carried out in this work. It was established that the ride smoothness of rolling stock can be determined based on the recorded acceleration of vibrations of the train car body, and далее by processing the measured experimental data using a well-known formula for calculating the conventional ride smoothness index, it is possible to evaluate the ride smoothness of high-speed rolling stock. The research results showed that the ride smoothness of the modern high-speed diesel train DPKr-3 is ensured, and, accordingly, traffic safety is also ensured.

Відповідно до Національної транспортної стратегії України, на період до 2030 р., слід покращити якість надання транспортних послуг та підвищити швидкість руху рухомого складу залізниць. Однак при підвищенні швидкостей руху важливим є підвищення рівня безпеки залізничних перевезень та плавності руху. Однак на сьогоднішній день рівень безпеки перевезень пасажирів та вантажів не відповідають сучасним вимогам європейських норм.

Одним з критеріїв забезпечення безпеки руху швидкісного рухомого складу залізничного транспорту є забезпечення плавності руху. За показником плавності руху також визначаються динамічні показники вагону і комфортабельність руху. Комфортабельність руху визначається методом встановлення впливу прискорень та частот на пасажирів.

Експериментальні випробування із визначення прискорень під час коливання кузова вагону швидкісного дизель-поїзду ДПКр-3 в експлуатаційних умовах проведено на Львівській залізниці. Встановлено, що при русі дизель-поїзду по безстиковій колії максимальна величина прискорень у поперечному напрямі кузова вагону склала $0,82 \text{ м/с}^2$, у повздовжньому напрямі кузова вагону – $1,05 \text{ м/с}^2$ та у вертикальному напрямі кузова вагону дизель-поїзду максимальна величина прискорень склала $1,21 \text{ м/с}^2$. За виміряними даними прискорень проведено оцінку плавності руху дизель-поїзда. На рис. 1 наведено результати оцінки показника плавності руху вагона дизель-поїзда при різних швидкостях руху.

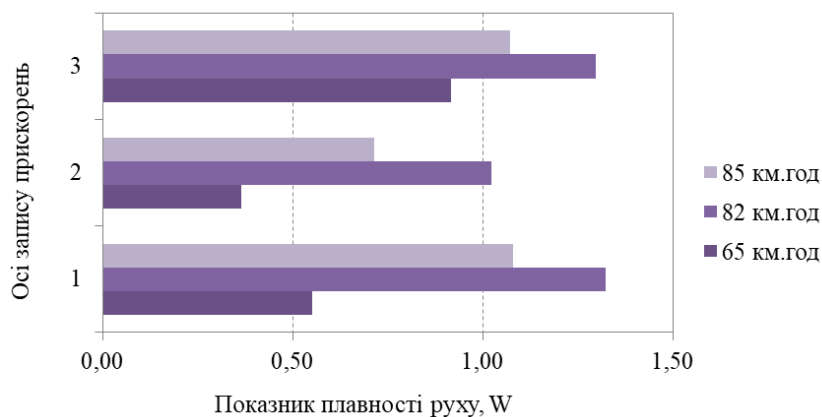


Рис. 1. Гістограма результатів досліджень показника плавності руху дизель-поїзда

Проведені багатоваріантні експериментальні дослідження показали, що сучасний дизель-поїзд ДПКр-3 відповідає нормативним вимогам по забезпеченню плавності руху. Оскільки, максимальні величини показника плавності руху вагону у поперечному напрямі склали 1,32, у повздовжньому напрямі показник плавності руху склав 1,02 та у вертикальному напрямі показник плавності руху склав 1,3. Ці величини є меншими за допустиму граничну величину 3,25, що встановлюється нормативним документом.

РОЗРОБКА СТРУКТУРИ СИСТЕМИ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА НА ДІЛЯНКАХ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ СХИЛЬНИХ ДО ЗАЛИШКОВИХ ДЕФОРМАЦІЙ У ВІДПОВІДНОСТІ ДО EN 16907

Швець Ю. А., студент групи ЗТБТ-22

Науковий керівник: Ковальчук В. В., д.т.н., проф.

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

A system for improving the safety of subgrade operation on track sections prone to residual deformations has been developed. Inertial acceleration sensors were used for this

purpose. The results of experimental studies showed that the magnitude of accelerations depends on the technical condition of the subgrade. It was established that an increase in railway traffic safety can be achieved through regular monitoring of changes in the technical condition of problematic subgrade sections prone to residual deformations.

На залізниці є ділянки земляного полотна, які схильні до деформацій, просадок, втрати стійкості укосів насипу, затоплення тощо. В експлуатаційних умовах є випадки втрати несучої здатності та стійкості земляного полотна. Такі випадки негативно впливають на забезпечення безпеки руху поїздів та функціонування залізниці в цілому. Переважна протяжність існуючого земляного полотна на залізницях України проєктувалася під інші експлуатаційні вимоги залізничної колії, аніж вони є на теперішній час.

Одним із методів оцінки технічного стану земляного полотна залізниці є моніторинг, який дозволяє вчасно встановити погіршення технічного стану земляного полотна та запобігти аварійним ситуаціям. Тому у роботі проведено дослідження, щодо експериментального моніторингу технічного стану проблемних ділянок земляного полотна залізничної колії із використанням інерційних технологій. Рекомендована схема моніторингу земляного полотна методом інерційних технологій із використанням високочастотних датчиків прискорень наведена на рис. 1.

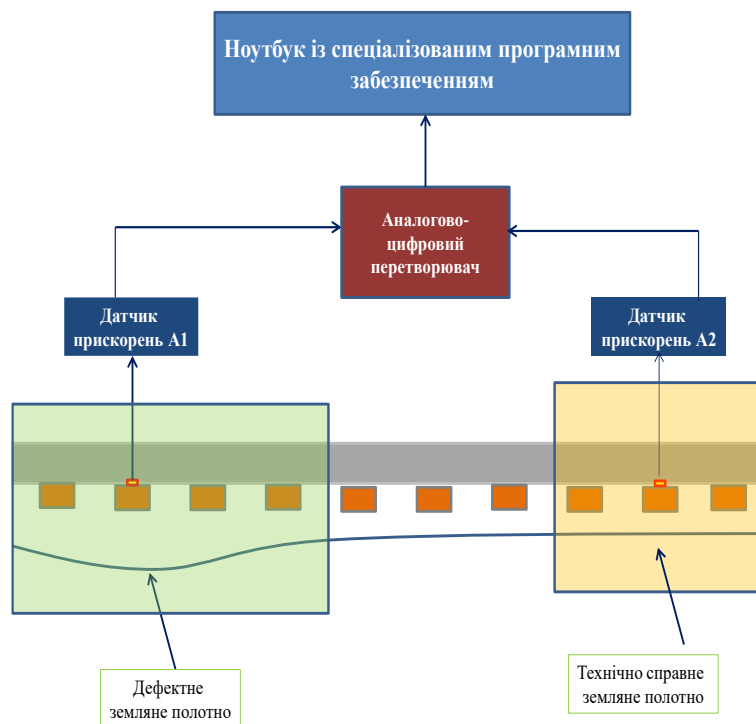


Рис. 1. Схема експериментального моніторингу технічного стану земляного полотна залізниці

За результатами експериментальних досліджень записів прискорень, які виникають на технічно справній ділянці земляного полотна та на ділянці колії із дефектним земляним полотном встановлено, що найбільш оптимальним критерієм для моніторингу технічного стану земляного полотна залізничної колії є записи прискорень у вертикальному напрямі. При проїзді локомотиву ЧМСЗ величина прискорень при технічно справному стані земляного полотна становила $5,81 \text{ м/с}^2$, а при дефектному стані земляного полотна – $12,21 \text{ м/с}^2$. На основі проведених досліджень встановлено, що підвищення безпеки руху залізничного транспорту можна досягти шляхом регулярного моніторингу змін технічного стану проблемних ділянок земляного полотна, які схильні до деформацій. Це можна досягти із застосування візуального моніторингу та інструментального моніторингу.

КОМПЛЕКСНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДИНАМІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ВІД РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦІ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАННИЙ СТАН ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ШПАЛ ІЗ ВРАХУВАННЯМ ВИМОГ ДСТУ EN 13230

Макауз Р. О., студент групи ЗТБТ-22

Науковий керівник: Ковальчук В. В., д.т.н., проф.

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

A study of the stress-strain state of reinforced concrete sleepers was carried out taking into account the effect of loads from railway rolling stock, which made it possible to determine the causes of defects in reinforced concrete sleepers. The results of comprehensive modeling of the stress-strain state of a reinforced concrete sleeper under the action of railway rolling stock loads showed that the maximum stress in the reinforced concrete sleeper under the action of a ChS7 locomotive was 1.65 MPa, which corresponds to a safety margin of 58.8%.

Залізобетонні шпали відіграють важливу роль у забезпеченні безпеки функціонування залізничної колії. Технічний стан шпал має вплив на технічний стан верхньої будови залізничної колії. Шпали забезпечують стабільне положення рейок, сприймають навантаження від рухомого складу залізничного транспорту та розподіляють це навантаження на баластний шар.

Підвищення навантажень на вісь та підвищення швидкостей руху поїздів призводять до того, що шпали в експлуатаційних умовах зазнають більшого впливу динамічного навантаження, яке спричиняє пошкодження та дефектність шпал. У результаті знижується їх довговічність. В експлуатації спостерігаються такі дефекти шпал як тріщини, деформації, руйнування захисного шару бетону, корозія арматурного дроту тощо.

Дослідження напружено-деформованого стану залізобетонних шпал із врахуванням впливу навантажень від рухомого складу залізниці дозволить встановити причини виникнення дефектів у залізобетонних шпалах та розробити заходи стосовно підвищення довговічності залізобетонних шпал.

За результатами комплексного моделювання напружено-деформованого стану залізобетонної шпали при впливі навантажень від рухомого складу залізниці встановлено, що максимальна величина напружень у залізобетонній шпалі при дії локомотиву ЧС 7 склала 1,65 МПа (рис. 1), величина максимальних переміщень – $6,96 \cdot 10^{-3}$ мм, а максимальних деформацій – $3,55 \cdot 10^{-5}$ мм.

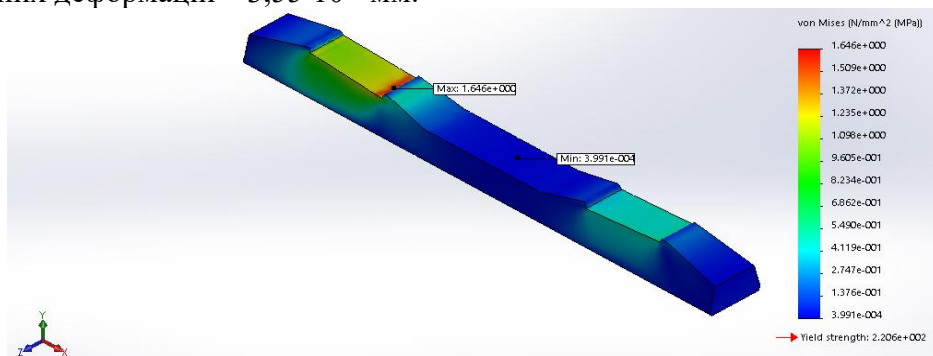


Рис. 1. Результати розрахунку напружень Мізеса у залізобетонній шпалі

Встановлено, що запас міцності шпали при дії вертикальних сил та горизонтальних бічних сил від локомотиву ЧС7 при швидкості руху 160 км/год у кривій ділянці колії радіусом 300 м складає 58,8 %.

Проведені досліджень дозволяють констатувати, що за допомогою методу скінченних елементів можна провести комплексні дослідження оцінки запасу міцності залізобетонних шпал при їх проєктування. Це дозволить приймати технічні рішення та конструктивні матеріали для підвищення міцності залізобетонних шпал у залежності від умов експлуатації.

РОЗВИТОК МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ ТА ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ХРЕСТОВИН СТІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ В ЕКСПЛУАТАЦІЇ ІЗ ВРАХУВАННЯМ ОСНОВНИХ ПОЛОЖЕНЬ ДСТУ EN 13232-1

Данчишин В. М., студент групи ЗТБТ-21
Науковий керівник: Ковальчук В. В., д.т.н., проф.

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

A methodology for diagnosing the technical condition of turnout frogs using inertial technologies has been developed. It was established that when rolling stock passes over the turnout frog, the maximum accelerations occur in the vertical plane of the frog, while the minimum accelerations occur in the longitudinal direction of the frog. It was also determined that the timely detection and prevention of the development of defects in turnout frogs under operating conditions require the application of technical condition monitoring systems.

Стрілочні переводи забезпечують безперебійне функціонування перевізної роботи залізничної галузі. Конструктивно стрілочний перевід містить стрілку, хрестовину та з'єднувальні колії. Ці конструктивні елементи виконують різні за призначенням функції та мають різні терміни експлуатації. Одним із проблемних елементів стрілочного перевodu є хрестовина. Вона знаходиться на перетині двох рейок, що призводять до підвищеної динамічної дії на хрестовину від рухомого складу, вертикальних зносів сердечника та вусовиків, зародженням дефектів і пошкоджень на поверхні робочих граней хрестовини. Вони впливають на забезпечення безпеки руху. Тому важливою задачею наукових досліджень є вчасне виявлення та усунення дефектів на хрестовинах стрілочних переводів.

Розроблено методологію експериментальних інерційних досліджень технічного стану хрестовин стрілочних переводів на основі досвіду розробки таких систем у країнах ЄС. Вона передбачає запис прискорень за допомогою триосьового датчика прискорень.

Результати експериментальних досліджень показали, що максимальні прискорення виникають у вертикальній площині хрестовини, а мінімальні – у повздовжньому напрямі хрестовини (рис. 1). Встановлено, що на величину прискорень має вплив швидкість руху рухомого складу. Підвищення швидкості призводить до збільшення величини прискорень. При швидкості руху пасажирських вагонів із тяговим рухомим складом ЧС7 рівною 64 км/год величина вертикальних прискорень склала 19,7 м/с², а при швидкості руху швидкісного електропоїзду Hyundai Rotem (Інтерсі+) рівною 82 км/год – 56,7 м/с².

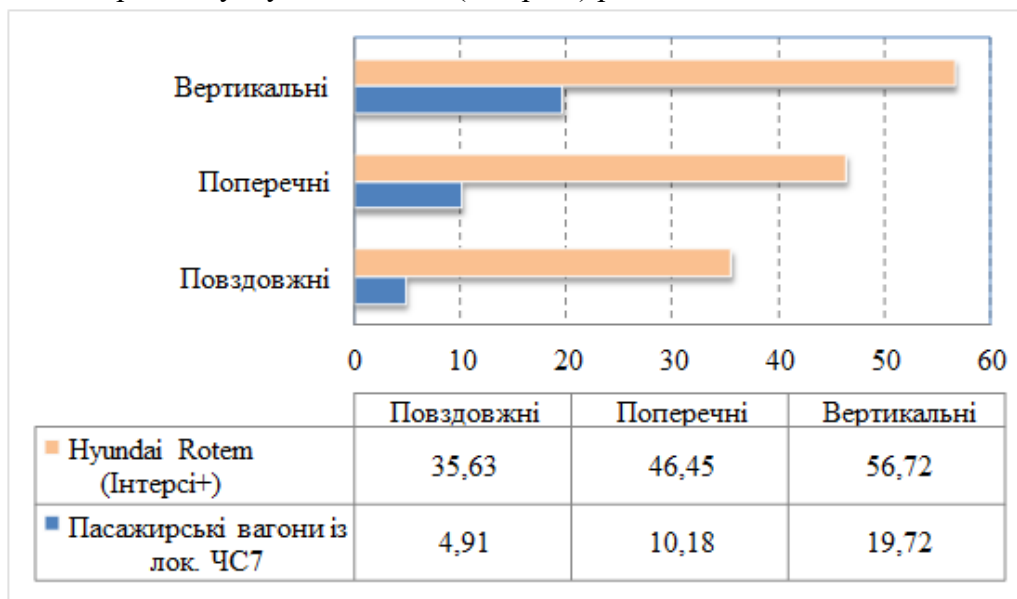


Рис. 1. Гістограма розподілу прискорень у хрестовині стрілочного перевodu

Встановлено, що для вчасного виявлення та попередження розвитку дефектів хрестовин стрілочних переводів в експлуатаційних умовах є застосування систем контролю технічного стану. Розробка методів та алгоритмів контролю дозволить підвищити термін експлуатації хрестовин, оскільки такі системи дозволяють вчасно попередити про розвиток несправностей хрестовин стрілочних переводів.

ДОСЛІДЖЕННЯ КОМФОРТНОСТІ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ПАСАЖИРІВ ШВИДКІСНИМ ДИЗЕЛЬ-ПОЇЗДОМ У ПРИМІСЬКОМУ СПОЛУЧЕННІ ЛЬВІВСЬКОЇ ЗАЛІЗНИЦІ

Лесів Назар., магістр

Науковий керівник: Ковальчук В. В., д.т.н., проф.

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

Experimental studies of passenger ride comfort on the high-speed diesel train ДПКр-3 in suburban service of the Lviv Railway were conducted. It was established that the level of passenger comfort on the DPKr-3 diesel train is influenced by the structural characteristics of the railway track. In the case of continuously welded track, passenger comfort on the modern ДПКр-3 diesel train is fully ensured.

Інтеграція залізничної транспортної мережі України у залізничну мережу Європейського Союзу ставить перед залізницею України ряд завдань, які стосуються експлуатаційної сумісності та підвищення рівня комфортності перевезень пасажирів залізничним транспортом.

Це вимагає модернізації залізничної інфраструктури та рухомого складу залізниці. Одним із найновіших і перспективним є сучасний дизель-поїзд ДПКр-3, українського виробництва, який експлуатується на пневматичних ресорах. На сьогоднішній день, більша кількість таких дизель-поїздів курсує по Львівській залізниці. Однак, досліджень комфортності перевезень пасажирів під час руху в цих поїздах не проводилося.

Встановлено, що під час руху дизель-поїзда ДПКр-3 по ланковій залізничній колії у поперечному напрямі величина прискорень складала $0,86 \text{ м/с}^2$, а у вертикальному напрямі – $1,15 \text{ м/с}^2$ (рис. 1). Це пояснюється впливом нерівності, яка утворюється при перекочуванні колеса дизель-поїзда через рейковий стик. У результаті проїзду рейкового стику виникає додаткова динамічна складова, яка викликає коливання кузова вагона.

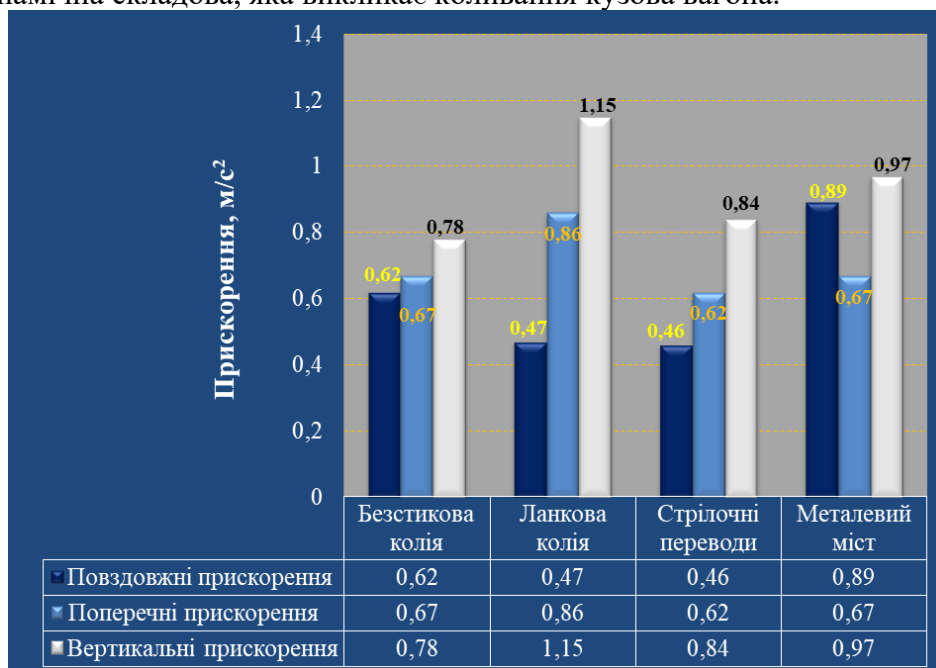


Рис. 1. Результати вимірювання прискорень при проїзді рухомого складу по залізничній колії

Проїзд дизель-поїзда по стрілочних переводах показав, що максимальна величина прискорень у вертикальному напрямі досягло значення $0,84 \text{ м/с}^2$. Також під час руху дизель-поїзда по металевому мосту величина прискорень у повздовжньому напрямі досягла значення $0,89 \text{ м/с}^2$, а у вертикальному – $0,97 \text{ м/с}^2$. Встановлено, що на рівень забезпечення комфортності перевезень пасажирів дизель-поїздом ДПКр-3 впливають конструктивні особливості залізничної колії. У випадку безстикової колії у повній мірі забезпечується комфортність перевезень пасажирів сучасним дизель-поїздом ДПКр-3.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ РЕЙОК БЕЗСТИКОВОЇ КОЛІЇ З'ЄДНАНИХ АЛЮМОТЕРМІЧНОЮ ЗВАРКОЮ ПРИ ДІЇ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ ІЗ ВРАХУВАННЯМ ВИМОГ ДСТУ EN 14587

Демяк Ю. Ю., студент групи ЗТБТ-21

Науковий керівник: Ільчишин В. М., к.т.н., доц.

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

Mathematical modeling of the stress-strain state of continuously welded rails joined by aluminothermic welding was carried out. It was established that the maximum stress in the welded joint, obtained according to the equivalent von Mises theory, was 92.75 MPa , while the maximum shear stresses were -11.72 MPa .

Безстикова залізнична колія має ряд переваг перед ланковою колією. Відсутність стиків у безстиковій колії забезпечує зменшення динамічних навантажень коліс рухомого складу на колію, що призводить до зниження вібрації, покращення плавності руху поїздів, а відповідно і комфортабельності перевезення пасажирів. Зменшення ударних впливів від рухомого складу на колію також сприяє довшому терміну служби рейок, шпал, баласту та земляного полотна.

У роботі наведено методику визначення навантажень на зварний стик рейок від дії навантажень від рухомого складу залізниці. Встановлено, що максимальні значення сил, які виникають при русі чотиривісного вантажного вагону при швидкості 110 км/год становлять $160,6 \text{ кН}$, а при русі восьмивісного вантажного вагону при швидкості 90 км/год – $146,9 \text{ кН}$.

Розроблено математичну модель зварного стику рейок безстикової колії у програмному комплексі SolidWorks. Результати напружено-деформованого стану зварного стику рейок отримано із використанням навчальної ліцензійної версії програми Femap with NX Nastran (рис. 1).

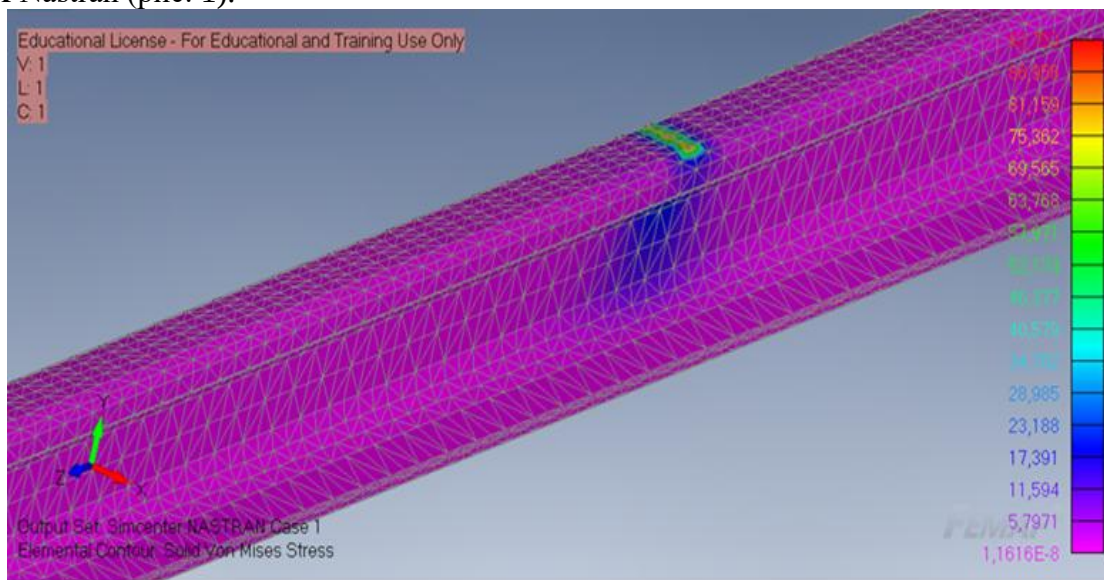


Рис. 1. Розрахунок напружень Міссеса у зварному стикі рейок безстикової колії

Результати проведених розрахунків напружень у зварному стикі рейок показали, що максимальна величина напружень отриманих за еквівалентною теорією Мізеса склали 92,75 МПа, а максимальні дотичні напруження склали -11,72 МПа.

Для підвищення довговічності зварних стиків рейок безстикової колії слід враховувати наступні складові: якість матеріалів та дотримання технології зварки, проведення регулярного обслуговування, вдосконалення зварювальних процесів, впровадження сучасних систем контролю та моніторингу зварних стиків.

ОЦІНКА ВПЛИВУ СИСТЕМИ ПАСИВНОГО ЗАХИСТУ СУЧАСНИХ ШВИДКІСНИХ ПОЇЗДІВ НА ЇХ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА БЕЗПЕКУ У ВІДПОВІДНОСТІ ДО ДСТУ-EN 15227

Андрес О. А., студент групи ЗТБТ-21

Науковий керівник: к.т.н., доц. Соболевська Ю.Г.

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

An important issue for ensuring the competitiveness of modern railway transport is the increase in operating speeds. However, this also increases the dynamic loads on rolling stock, increasing the safety of emergency situations. The passive protection system, which is designed to prevent excessive loads on the structure of a wagon or locomotive, preserve survival space for train service personnel and passengers, and prevent cars from creeping in the event of collisions, helps to reduce the consequences of accidents in the event of them occurring. Improving protective properties is directly related to increasing the energy-absorbing properties of protective elements by optimizing their design and using modern materials and technologies.

Важливим питанням для забезпечення конкурентоздатності сучасного залізничного транспорту є зростання експлуатаційних швидкостей. Але при цьому також збільшуються динамічні навантаження на рухомий склад, зростає небезпека аварійних ситуацій. Зменшити наслідки аварій у разі їх настання допомагає система пасивного захисту, яка розрахована на запобігання виникненню надлишкових навантажень на конструкцію вагона чи локомотива, збереження життєвого простору для обслуговуючого персоналу поїзда та пасажирів, перешкоджання наповзанню вагонів при зіткненнях. Покращення захисних властивостей безпосередньо пов'язано з підвищенням енергопоглинаючих властивостей елементів захисту шляхом оптимізації їх конструкції та використання сучасних матеріалів та технологій.

В рамках виконаної роботи проаналізовано нормативні вимоги стандарту EN 15227, спрямованого на забезпечення ударостійкості сучасного рухомого складу залізниць та безпеки поїзних бригад та пасажирів. Проведений детальний огляд сучасного стану теоретичних та експериментальних досліджень систем пасивного захисту рухомого складу залізниць, а також проаналізований досвід застосування технології керування енергією зіткнення (Crash Energy Management) у провідних залізничних компаніях світу.

Виконано оцінку відповідності швидкісного дизель-поїзда ДПКр-3 вимогам стандарту EN 15227 на основі спрощеної математичної моделі зіткнення.

Проаналізовані показники енергетичної ефективності пристроїв поглинання енергії та проведений аналіз впливу силової характеристики та ходу деформування пристроїв на їх властивості.

Розглянуті питання покращення організації обслуговування та відновлення елементів системи пасивного захисту рухомого складу залізниць.

РОЗВИТОК МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СТУПЕНЮ УЩІЛЬНЕННЯ БАЛАСТНОГО ШАРУ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНЕРЦІЙНИХ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ВІДПОВІДНОСТІ ДО ДСТУ EN 13450

Василик В. І., студент групи ЗТБТ-21

Науковий керівник: Ковальчук В. В., д.т.н., проф.

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

A methodology for assessing the degree of compaction of the railway track ballast layer using inertial technologies has been developed. The results of experimental studies showed that there is a significant difference in the propagation velocities of the impact-generated acoustic wave depending on the degree of ballast compaction. As the degree of ballast compaction increases, the wave velocity increases. It was established that the quality of compaction of the railway track ballast layer can be evaluated based on the propagation velocity of the acoustic wave.

Баластний матеріал залізничної колії відіграє важливу роль у забезпеченні функціональності залізничної колії у процесі її життєвого циклу. Важливим параметром якості експлуатації баластного шару є ступінь ущільнення баласту. Ступінь ущільнення баластного шару залізничної колії є параметром, що визначає технічний стан залізничної колії. Недостатнє, або надмірне ущільнення однаково негативно впливають на надійність та довговічність залізничної колії у процесі життєвого циклу.

Нормативний ступінь ущільнення баластного шару забезпечує стабільність положення рейко-шпальної решітки залізничної колії, рівномірний розподіл навантажень від дії рухомого складу залізничного транспорту, ефективний дренаж. Також призводить до зниження динамічного впливу рухомого складу на конструкцію залізничної колії. Тому, як при укладанні баластного шару, так і при його експлуатації, дуже важливим є діагностика та моніторинг ступеню ущільнення баластного шару із певною періодичністю.

Для оцінки ступеню ущільнення баластного шару використовується метод інерційних технологій. За ним визначається швидкість поширення звукової хвилі удару у залежності від ступеню ущільнення піщаного баласту. У даному методі використано аналогові датчики прискорень, аналогово-цифровий перетворювач та ноутбук із спеціалізованим програмним забезпеченням.

Результати експериментальних досліджень показали, що спостерігається значна різниця швидкостей руху звукової хвилі удару у залежності від ступеню ущільнення піщаного баласту (рис. 1).

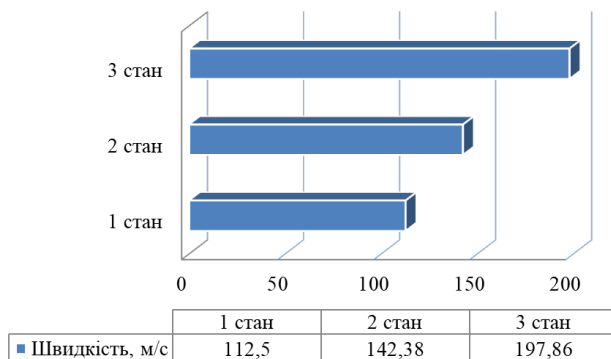


Рис. 1. Гістограма швидкостей руху хвилі у піщаному баласті

При порівнянні максимальної швидкості, яка досягнута при пошаровому ущільненні баласту із неущільненим баластом, різниця складає 85,36 м/с, а різниця із проміжним ущільненням складає 55,48 м/с. Отже, за швидкістю руху хвилі можна проводити оцінку ступеню ущільнення баластного шару залізничної колії.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ РЕМОНТУ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ В ДЕПО Л З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ

Бойчук Д. А., студент групи ЗТБТ-22
Науковий керівник: к.т.н., доц. Соболевська Ю.Г.

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

Modern railway transport is one of the key modes of passenger transportation for medium and long distances, ensuring accessibility, mass transit, and environmental sustainability. In the context of Ukraine's integration into the European transport area and the growing demands for service quality, train traffic safety has become a priority.

L Depot, as one of the key maintenance divisions of Ukrzaliznytsia, faces the issue of an aging fleet of passenger coaches, with many vehicles in operation for over 30–40 years. This leads to frequent failures, technical malfunctions after repairs, and an increased risk of transport incidents. The main reasons for these issues are the use of outdated repair technologies and materials that no longer meet modern standards of strength, corrosion resistance, and fire safety.

International experience shows that railway companies actively implement advanced materials — wear-resistant steels, aluminum alloys, polymers, composites — which help reduce the structural weight, extend the service life of coaches, and improve operational reliability. This approach also enhances traffic safety by reducing the number of technical failures and improving fire safety performance.

Сучасний залізничний транспорт є одним із ключових видів пасажирських перевезень середньої та великої дальності, який забезпечує доступність, масовість і екологічність транспортування. В умовах інтеграції України до європейського транспортного простору та зростання вимог до якості обслуговування пріоритетного значення набуває безпека руху поїздів.

Депо Л, як один із важливих ремонтних підрозділів Укрзалізниці, стикається з проблемою зношеного вагонного парку: багато вагонів експлуатуються понад 30–40 років. Це призводить до частих відмов, технічних несправностей після ремонту та підвищує ризик транспортних подій. Основними причинами є використання застарілих технологій ремонту та матеріалів, які не відповідають сучасним стандартам міцності, стійкості до корозії та пожежної безпеки.

Світовий досвід показує, що залізничні компанії активно впроваджують новітні матеріали — зносостійкі сталі, алюмінієві сплави, полімери, композити — що дозволяє зменшити масу конструкцій, збільшити термін служби вагонів та покращити їхню експлуатаційну надійність. Такий підхід також позитивно впливає на безпеку руху завдяки зменшенню кількості технічних відмов і кращим характеристикам пожежної безпеки.

Якість ремонтів пасажирських вагонів є одним із головних чинників, що впливає на безпеку руху поїздів, комфорт пасажирів і економічну ефективність експлуатації рухомого складу. Незважаючи на розгалужену мережу депо та вагоноремонтних заводів в Україні, рівень якості ремонтних робіт має суттєві проблеми та нерівномірний характер.

Ці проблеми обумовлюють необхідність глибокого реформування технологій ремонту, впровадження сучасних матеріалів і методів контролю, а також вдосконалення організації процесу ремонту для підвищення безпеки руху поїздів.

Використання традиційних матеріалів у ремонті пасажирських вагонів обумовлює низку серйозних проблем: знижену зносостійкість і корозійну стійкість деталей, підвищений ризик займання й поширення пожежі, скорочення міжремонтних інтервалів і підвищення вартості експлуатації через часті повторні ремонти. Ці фактори створюють об'єктивну потребу у переході на сучасні матеріали, що мають кращі експлуатаційні властивості та відповідають міжнародним стандартам безпеки. Сучасні тенденції в галузі

ремонту пасажирських вагонів передбачають активне впровадження новітніх матеріалів, які мають покращені експлуатаційні характеристики, високу зносостійкість, довговічність та здатність до зниження ваги конструкцій. Аналіз властивостей таких матеріалів є важливою складовою при розробці ефективних підходів до модернізації та ремонту вагонного парку

У роботі на основі аналізу всіх перерахованих факторів був запропонований технологічний процес, що має враховувати властивості нових матеріалів, послідовність операцій, вимоги до обладнання, кваліфікацію персоналу та стандарти безпеки. Також був проведений розрахунок ресурсу деталей та термінів окупності інвестицій, який показав суттєве подовження міжремонтних інтервалів завдяки використанню сучасних матеріалів. Для ключових вузлів приріст ресурсу складає від 50 % до 100 %, що дозволяє скоротити витрати на ремонти, зменшити кількість відмов у русі, підвищити безпеку експлуатації та загальну економічну ефективність залізничних пасажирських перевезень.

КОМПЛЕКСНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ НА БЕЗПЕКУ РУХУ ПОЇЗДІВ

Дубковецький Д. М., студент групи ЗТБТ-21
Науковий керівник: к.т.н., доц. Соболевська Ю.Г.

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

The impact of the technical condition of passenger vehicles on the safety of train traffic was investigated. The study analyzes regulatory frameworks, accident statistics, and identifies key defects posing risks to passenger safety. The current system of technical maintenance and repair of passenger cars is evaluated, highlighting its limitations and weaknesses. Proposals are made to improve safety, including enhanced diagnostics, the use of modern materials, and sensor-based monitoring systems. The findings have practical relevance for improving the reliability and safety of passenger railway transportation in Ukraine.

Сучасні умови експлуатації залізничного транспорту вимагають високого рівня надійності та безпеки пасажирських перевезень. Значна частина аварійних та нестандартних ситуацій на залізниці пов'язана з незадовільним технічним станом рухомого складу. Пасажирські вагони, як основна ланка у процесі перевезень, повинні відповідати суворим вимогам безпеки, комфорту та надійності. Тому оцінка їхнього технічного стану та своєчасне виявлення несправностей є ключовим фактором запобігання аваріям і забезпечення безперервності руху поїздів.

Залізнична галузь України переживає процес модернізації та впровадження нових технологій, проте проблема зносу і старіння вагонного парку залишається актуальною. Збільшення середнього віку пасажирських вагонів та обмежені ресурси на їх оновлення вимагають удосконалення системи технічного обслуговування і контролю стану.

В даній роботі було проведено аналіз статистичних даних щодо аварій та інцидентів, пов'язаних із технічним станом вагонів, на основі чого визначені основні несправності та дефекти, які впливають на безпеку руху. Це

- ✓ сходи з рейок через дефекти ходових частин (візків, ресорного підвішування, букс);
- ✓ руйнування або заклинювання буксових підшипників через перегрів або мастильний дефіцит;
- ✓ відмови гальмівного обладнання, що призводять до неможливості екстреного гальмування;
- ✓ несправності автозчепних пристроїв, що викликають розрив складу під час руху;
- ✓ займання електрообладнання або систем опалення, що створює пожежонебезпечні ситуації.

Міжнародна статистика показує аналогічні тенденції.

Ключовою складовою системи технічного обслуговування, що дає змогу своєчасно виявляти дефекти та запобігати їхньому розвитку до стадії аварійної відмови, є діагностика технічного стану пасажирських вагонів. Сучасні методи діагностики поєднують традиційні ручні перевірки з автоматизованими й комп'ютеризованими системами контролю, такими як неdestructивні методи контролю; акустична та електротехнічна діагностика; контроль температури буксових вузлів, тощо.

Для підвищення ефективності потрібне оновлення матеріально-технічної бази, навчання фахівців і впровадження сучасних ІТ-рішень для зберігання та аналізу діагностичних даних. Проведена економічна оцінка запропонованих заходів, яка доводить їхню доцільність і окупність у середньостроковій перспективі.

Отримані результати свідчать, що підвищення безпеки руху пасажирських поїздів потребує комплексного підходу, що охоплює технічні, організаційні та кадрові рішення. Реалізація запропонованих заходів дозволить знизити аварійність, підвищити якість пасажирських перевезень, сприятиме інтеграції української залізниці в європейський транспортний простір і забезпечить відповідність сучасним вимогам безпеки руху поїздів.

КОМПЛЕКСНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РІВНЯ ШУМУ ВІД ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦІ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ ВІДПОВІДНО ДО ВИМОГ TSI NOISE

Мандрик Д. І., студент групи ЗТБТ-22

Науковий керівник: к.т.н., доц. Соболевська Ю.Г.

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

This research conducted a comprehensive study of the noise impact of rail transport on humans and the environment in accordance with the requirements of European standards and technical specifications for interoperability TSI Noise. The study is aimed at assessing the acoustic characteristics of traction rolling stock, analyzing the regulatory framework for noise measurements, determining the environmental and socio-economic consequences of noise pollution, and developing recommendations for its reduction at the source, infrastructure, and operation levels. The paper summarizes the results of research on the physical mechanisms of noise generation, its regulation, and assessment methods. An experimental study of the noise level from railway rolling stock in real operating conditions was conducted.

Сучасний розвиток залізничного транспорту супроводжується зростанням інтенсивності руху поїздів, підвищенням швидкостей та збільшенням обсягів перевезень, що безпосередньо впливає на акустичне навантаження на навколишнє середовище. Залізниця, будучи одним із найбільш енергоефективних та екологічно вигідних видів транспорту, все ж є джерелом значного шумового впливу, який створює суттєві ризики для здоров'я населення, що проживає поблизу залізничних магістралей, а також для екосистем прилеглих територій.

Проблема шумового забруднення набула особливої актуальності у зв'язку з інтеграцією транспортної системи України до європейського простору та необхідністю дотримання вимог Технічних специфікацій інтероперабельності (TSI Noise) і директив Європейського Союзу щодо контролю рівня шуму від транспортних засобів. Згідно з міжнародними дослідженнями, шум від залізничного руху є другим за поширеністю джерелом шкідливого акустичного впливу після автомобільного транспорту.

Шум від залізничного транспорту має комплексну природу. Його формують різні джерела – взаємодія колеса та рейки, робота тягового двигуна, гальмівних систем, допоміжних агрегатів тощо. Крім того, важливими чинниками виступають конструкційні особливості рухомого складу, тип колії, швидкість руху та стан інфраструктури.

Попри значну кількість досліджень, проблема шумового впливу залізничного транспорту залишається недостатньо вирішеною, особливо в умовах України. Необхідний комплексний підхід, що включатиме оцінку рівня шуму від сучасного тягового рухомого складу; аналіз впливу конструкційних особливостей локомотивів і вагонів на акустичні характеристики; дослідження ефективності шумозахисних технологій та розроблення пропозицій щодо удосконалення нормативно-технічної бази відповідно до вимог ЄС.

У даній роботі проведені експериментальні дослідження зовнішнього шумового навантаження при русі колією маневрового локомотива, пасажирського та вантажного поїздів, а також при холостому ході локомотива. Отримані результати в цілому показали відповідність нормам.

Розглянуті конструкційні, організаційні та інфраструктурні заходи щодо зменшення рівня шуму на прилеглих до залізниці територіях. Показано ефективність застосування шумозахисних екранів та амортизація колії за допомогою віброзахисних матів та підрейкових прокладок.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕРГОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ КАБІНИ МАШИНІСТА СУЧАСНОГО ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ ВІДПОВІДНО ДО ВИМОГ ЄС

Колодяжний І.В., студент групи ЗТБТ-21
Науковий керівник: к.т.н., доц. Соболевська Ю.Г.

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

Improving the safety and efficiency of railway rolling-stock operation largely depends on the working conditions of the locomotive driver. In the context of Ukraine's integration into the European transport area, the issue of bringing driver's cabs into compliance with European Union requirements has become especially relevant. EU regulations and standards – including the Technical Specifications for Interoperability (TSI), EN standards, and ergonomic norms – define a comprehensive set of requirements for cab design, control interfaces, visibility conditions, microclimate, vibration exposure, and driver safety. Meeting these requirements ensures not only interoperability of rolling stock within the EU railway network, but also reduces the risk of occupational diseases and operational errors during train control. As part of the work, an experimental comparative analysis of noise impacts in the driver's cabs of diesel locomotives of different generations (ChME-3, 2TE10UT and TE33AC), was conducted.

Підвищення рівня безпеки та ефективності управління рухомим складом залізничного транспорту значною мірою залежить від умов праці машиніста. У сучасних умовах інтеграції України до європейського транспортного простору особливої актуальності набуває питання відповідності кабін машиністів вимогам Європейського Союзу. Регламенти та стандарти ЄС, зокрема Технічні специфікації інтероперабельності (TSI), EN та норми з ергономіки, визначають комплекс вимог щодо конструкції кабін, органів керування, умов видимості, мікроклімату, вібраційних навантажень та безпеки машиніста. Дотримання цих вимог забезпечує не лише сумісність рухомого складу в межах ЄС, а й зниження ризику професійних захворювань та помилок під час керування поїздом.

В роботі проведений порівняльний аналіз українських та європейських вимог до ергономічності кабін машиніста. Показано, що нормативні вимоги ЄС є більш структурованими та жорсткими.

Наведено комплексну методику оцінювання ергономічності кабін машиніста локомотива, розроблену на основі вимог провідних європейських стандартів – EN 16186, ISO 2631, ISO 3381, ISO 9241 та положень TSI LOC&PAS. Проведений аналіз підтвердив, що ергономічні параметри робочого місця машиніста мають визначальний вплив на

безпеку руху, ефективність управління локомотивом і стан здоров'я оператора під час тривалих змін.

Виконаний експеримент щодо рівня виробничого шуму в кабіні машиніста тепловозів ЧМЕЗ, 2ТЕ10УТ та ТЕ33АС. Порівняння трьох локомотивів показало очевидну перевагу ТЕ33АС, де завдяки сучасній конструкції кабіни, збільшеному внутрішньому об'єму та використанню звукопоглинаючих матеріалів досягнуто найнижчих рівнів шуму як у фоновому режимі, так і під час маневрових радіопередач. У ЧМЕЗ та 2ТЕ10УТ вищі пікові значення та ширший діапазон коливань обумовлені менш ефективною ізоляцією та акустичною жорсткістю внутрішніх поверхонь кабіни. Але в цілому, кабіни всіх розглянутих тепловозів відповідають вимогам щодо допустимого рівня шуму.

Проведений аналіз ергономічності кабін рухомого складу залізниць України. Узагальнюючи, можна стверджувати, що українське локомотивобудування потребує стратегічного перезапуску, тоді як вагонобудування (на прикладі сучасних дизель- та електропоїздів, що виготовляються Крюківським вагоноремонтним заводом) вже сьогодні демонструє відповідність основним європейським вимогам щодо ергономіки та комфорту. Це створює передумови для поступової гармонізації українського рухомого складу з нормами ЄС у довгостроковій перспективі.

ПРОПОЗИЦІЇ ПО СКОРОЧЕННЮ ВИТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ

Авдєєв Г.І., магістр
Науковий керівник: Малюк С.В., ст. викладач.

Національний транспортний університет, м.Київ, Україна

Railway transport as the basis of the transport system of Ukraine faces a significant problem of energy efficiency of the operation of electric rolling stock. The relevance of this study is due to the critical need to reduce operating costs in railway transportation, especially in conditions of constant growth of electricity tariffs. The existing fleet of locomotives, a significant part of which has a significant degree of wear and tear and is equipped with outdated control systems, demonstrates low energy efficiency, which directly affects the cost of transportation. The purpose of the work is a comprehensive study and justification of technical and technological solutions aimed at reducing electricity costs in the operation of electric rolling stock.

Актуальність проблеми підвищення енергоефективності електрорухомого складу (ЕРС) для залізничного транспорту України важко переоцінити. Як основа транспортної системи країни, залізниці щорічно споживають колосальні обсяги електроенергії, і значна їх частина припадає на тягу поїздів. Існуючий парк локомотивів, значною мірою сформований ще в радянські часи, має низький енергетичний ККД через застосування застарілих систем управління на основі контакторно-реостатної апаратури. Таким чином, пошук шляхів скорочення витрат енергоресурсів є не лише техніко-економічним завданням, але й важливим державним пріоритетом для зниження собівартості перевезень та підвищення конкурентоспроможності галузі.

Одним з найбільш перспективних напрямів є корінна модернізація самого тягового електроприводу. Перехід від традиційних колекторних двигунів постійного струму до асинхронних тягових двигунів (АТД) змінного струму відкриває принципово нові можливості. АТД відрізняються надійністю, відсутністю колекторно-щіткового вузла, що вимагає постійного обслуговування, та мають кращі тягові характеристики. Однак їхня головна перевага в контексті енергозбереження – це можливість плавного і точного регулювання швидкості та моменту за допомогою сучасних перетворювачів частоти, що забезпечує роботу в оптимальних енергетичних режимах незалежно від умов руху.

Неменш важливим є впровадження сучасних систем автоматизованого управління, зокрема мікропроцесорних систем управління та діагностики (МСУД). Такі системи дозволяють перевести управління локомотивом на якісно новий рівень. Вони автоматично вибирають оптимальний режим тяги та гальмування, враховуючи профіль колії, масу поїзда, обмеження швидкості та заданий графік руху. Заміна об'ємних і енерговитратних контакторних контролерів на компактні та надійні статичні (імпульсні) перетворювачі значно знижує власні витрати енергії та забезпечує плавність регулювання, усуваючи стрибкоподібні втрати енергії, властиві ступінчастим системам.

Крім конструктивних удосконалень, істотний резерв енергозбереження криється в оптимізації технології роботи. Сюди належать такі заходи, як максимальне використання кінетичної та потенційної енергії поїзда при русі на вибігу, активне застосування рекуперативного гальмування, при якому енергія сповільнення не розсіюється в тепло, а повертається в контактну мережу для живлення інших поїздів, а також удосконалення систем боротьби з боксуванням для мінімізації непродуктивних втрат.

Інтеграція локомотива в загальну систему управління рухом за допомогою таких комплексних пристроїв, як КЛУБ (комплексний пристрій безпеки) та САУГ (система автоматичного управління гальмуванням), дозволяє не лише підвищити безпеку, але й забезпечити рух поїзда за наперед розрахованим енергооптимальним профілем. Машиніст отримує рекомендації щодо вибору швидкості та моменту вимкнення тяги, що значно полегшує його працю та виключає суб'єктивний чинник.

Економічне обґрунтування, наведене в роботі, підтверджує високу ефективність запропонованих заходів. Розрахунки показують, що модернізація електровоза шляхом впровадження системи імпульсного регулювання може забезпечити річну економію в сотні тисяч гривень на парк локомотивів. Цей ефект досягається за рахунок скорочення витрат на заробітну плату ремонтного персоналу, зменшення потреб у запасних частинах та прямого зниження споживання електроенергії.

Таким чином, стратегія скорочення витрат електроенергії на залізничному транспорті має бути комплексною. Вона поєднує технічне переозброєння рухомого складу на основі асинхронного тягового приводу та напівпровідникової елементної бази, впровадження інтелектуальних систем автоматизованого управління рухом та діагностики, а також оптимізацію експлуатаційних технологій. Реалізація цієї стратегії дозволить не просто економити кошти, але й забезпечити технологічний стрибок вітчизняного залізничного транспорту, підвищивши його енергетичну незалежність, надійність та конкурентоспроможність в довгостроковій перспективі.

Література

1. Мажара, О. О. Контроль ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів в локомотивному господарстві АТ "Укрзалізниця" : магістерська дис. : 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / Мажара Олена Олександрівна. – Київ, 2024. – 105 с.. <https://ela.kpi.ua/items/aa482b7c-99a5-4d54-884f-6fd4c0a6a9d0>
2. Ананьева О. М. Аналіз методів енергозбереження та енергоефективності та їх впровадження на залізницях України / О. М. Ананьева, О. В. Червенко // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. – 2024. – Вип. 210. – С. 172-183. <http://lib.kart.edu.ua/bitstream/123456789/27737/1/Ananieva.pdf>
3. Kisliy, D. M., Desiak, A. Y., Bobyr, D. V., & Bodnar, E. B. (2023). Визначення енергооптимізованого керування локомотивом під час розгону поїзда. Science and Transport Progress, (4 (104)), 25-38. <https://stp.ust.edu.ua/article/view/298713>
4. Кобзар, О. В. Синтез адаптивної системи керування для асинхронного частотно-регульованого електроприводу : магістерська дис. : 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / Кобзар Олександр Васильович. – Київ, 2024. – 102 с. <https://ela.kpi.ua/items/9348da18-0e0a-4c0d-9a41-54d0b6955a9a>

МОДЕРНІЗАЦІЯ МАНЕВРОВИХ ЛОКОМОТИВІВ ДЛЯ ПРОДОВЖЕННЯ ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Вадим Савчук, студент групи ЛГ-31сп
Науковий керівник: БАБ'ЯК М.О., к.т.н., доц.

Національний університет «Львівська політехніка», м.Львів, Україна

This paper proposes one of the options for modernization of shunting diesel locomotives for Ukrainian railways, taking into account European and domestic experience. Deep modernization is proposed with the use of an energy storage device and power regulation on individual groups of traction engines depending on the type of operation and load of the locomotive.

При глибокій модернізації маневрових локомотивів з метою продовження терміну експлуатації на залізницях України розглянуто декілька варіантів, що пропонуються закордонними та вітчизняними ремонтними підприємствами. За основу нашої пропозиції обрано проект Чеської компанії CZ LOKO яка успішно реалізовує модернізації чотиривісних та шестивісних маневрових локомотивів з використанням різних типів двигунів внутрішнього згорання.

Проектом передбачається обрати основним типом двигунів внутрішнього згорання Caterpillar (CAT) з потужністю 970-1500 кВт.

Доцільність модернізації замість придбання нового локомотива підтверджено у багатьох країнах світу, а модернізація з використанням енергетичних установок Caterpillar з тяговим генератором Siemens на тепловозі ЧМЕЗ в Латвії Литві та Україні.

На відміну від відомих проектів глибокої модернізації нами додатково пропонується використання дизель-генераторної установки з синхронним генератором меншої потужності з накопичувачем енергії.

При такій модернізації тягові електричні двигуни отримують живлення від накопичувача енергії (НЕ) через електричну передачу змінно-постійного струму та можуть працювати при підключенні окремого візка тепловоза за схемою 3о-3о (Co-Co) (рис.1).

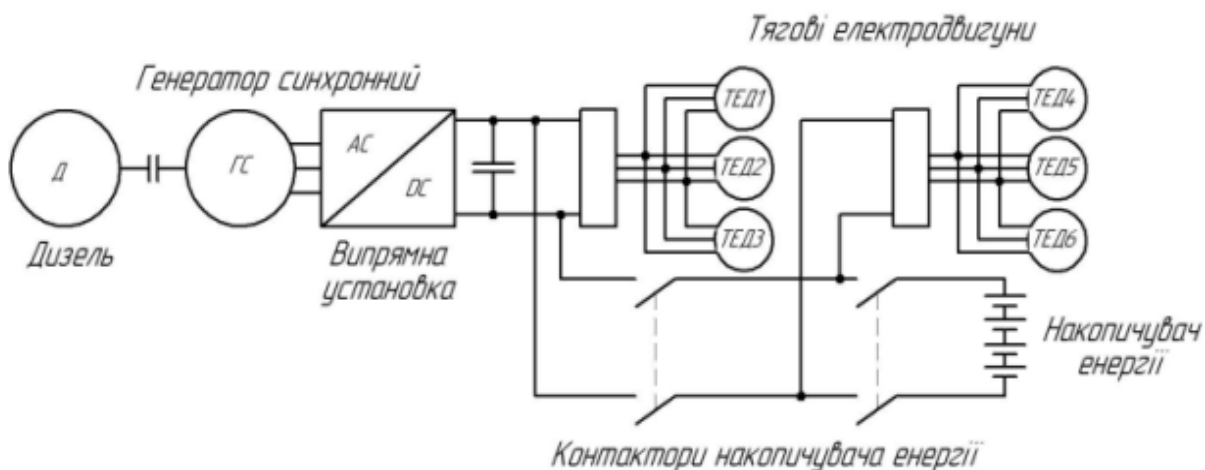


Рис. 1. Принципова схема модернізованого маневрового локомотива

Висновок. За рахунок глибокої модернізації маневрових тепловозів ЧМЕЗ, з використанням енергетичного накопичувача покращуються його експлуатаційні характеристики, зменшуються експлуатаційні витрати а також витрати паливо-мастильних матеріалів, та зменшення шкідливих викидів у атмосферу. При цьому підвищується рівень комфорту та безпеки для локомотивних бригад а термін експлуатації тепловоза збільшується до 30 років.

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КОЛІСНИХ ПАР ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ В УМОВАХ ІНТЕНСИВНИХ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Мартиненко Д. І., аспірант

Науковий керівник: Щербина Ю. В., к.т.н., доц.

Національний транспортний університет, м.Київ, Україна

The study examines approaches to improving the performance of freight car wheelsets operating under increased dynamic loads. Wheelsets are subjected to intensified impacts caused by higher axle loads, speed fluctuations, track irregularities, and long-term operational stresses, which accelerate wear and increase the likelihood of failures. The research applies a comprehensive methodology that includes analysis of vibration characteristics, evaluation of dynamic load parameters, predictive assessment of defect development, and numerical modeling of the stress–strain state using a digital twin. The obtained results demonstrate that early identification of characteristic vibration patterns and load anomalies enables timely detection of initial damage stages. Predictive models of remaining useful life support the optimization of maintenance intervals, while digital twin simulations help identify critical stress zones and assess the influence of operational factors. The integrated approach significantly enhances wheelset reliability, reduces the risk of unexpected failures, and contributes to improving the safety and efficiency of freight railway operations.

Колісні пари вантажних вагонів є ключовим елементом ходової частини та займають центральне місце в забезпеченні безпеки, надійності та економічної ефективності залізничних перевезень. Вони сприймають основні навантаження, що виникають під час взаємодії колеса з рейкою, та визначають стійкість вагона в русі. В умовах реальної експлуатації колісні пари зазнають підвищених динамічних впливів, інтенсивність яких постійно зростає внаслідок збільшення маси поїздів, підвищення швидкостей руху, переходу до більш жорстких графіків та нерівномірності завантаження. Суттєвий вплив мають також структурні та геометричні відхилення колії, дефекти рейкової нитки, погіршення якості зчеплення та мікроудари, що накопичуються протягом тривалого періоду експлуатації.

Такі чинники спричиняють прискорене зношування елементів колісної пари, появу дефектів поверхонь кочення, утворення осьових дисбалансів та розвиток втомних процесів у матеріалі осі. Погіршення технічного стану призводить до збільшення витрат на ремонт, підвищення рівня небезпеки в експлуатації та зниження ефективності перевізного процесу. Традиційні підходи до контролю технічного стану базуються на періодичних оглядах і не враховують реальних режимів роботи колісної пари, що значно зменшує їхню діагностичну цінність. Відсутність оперативної інформації про фактичні динамічні навантаження не дозволяє вчасно реагувати на початкові стадії пошкоджень.

У межах проведеного дослідження застосовано комплексний підхід, який об'єднує сучасні інтелектуальні методи аналізу експлуатаційних навантажень, обробку вібраційних сигналів, моделювання напружено-деформованого стану та прогнозування ресурсу елементів колісної пари. Особливу увагу приділено аналізу впливу нерівностей колії, зміни швидкості руху, утворення кутових прискорень та амплітуд вібрацій, які виникають під час проходження поїздом проблемних ділянок. Обробка отриманих параметрів дозволила виявити закономірності їх зміни, визначити характерні діапазони навантаженості для різних режимів руху та сформувати більш повну картину реальних умов роботи колісних пар.

Окремим напрямом дослідження став аналіз вібраційних сигналів, які відображають реакцію елементів колісної пари на динамічні впливи. Використання спектральних, кореляційних і часово-частотних методів дало можливість виділити характерні частотні компоненти, що відповідають початковим етапам розвитку дефектів поверхонь кочення, появі овальності коліс, пошкодженням підшипників кочення та порушенням геометрії осі.

Порівняння вібраційних сигналів за нормальних умов та під дією додаткових навантажень дозволило сформувати діагностичні ознаки, які можуть застосовуватися для раннього виявлення несправностей та оптимізації графіка технічного обслуговування.

Важливу роль у дослідженні відіграло прогнозування залишкового ресурсу елементів колісної пари. Для цього були використані математичні моделі, що враховують історію навантажень, інтенсивність експлуатації, рівень вібрацій та особливості режимів руху. Застосування цих моделей дозволило оцінити швидкість розвитку дефектів, встановити критичні пороги навантаженості й визначити оптимальні інтервали профілактичних оглядів і ремонтів. Порівняння отриманих результатів із нормативними методами показало істотне підвищення точності прогнозування та зменшення ймовірності раптових відмов.

У дослідженні також використано цифровий двійник колісної пари, який відтворює реальні умови її роботи та дозволяє моделювати поведінку конструкції під дією різних навантажень. Модель дала можливість оцінити напружено-деформований стан елементів, визначити зони концентрації напружень, дослідити вплив геометричних відхилень і дефектів на стійкість роботи та сформувавши рекомендації щодо підвищення довговічності конструкції. Цифровий двійник продемонстрував високу ефективність для аналізу сценаріїв, які складно або неможливо відтворити в натурних умовах.

Узагальнення результатів дослідження свідчить про те, що інтелектуальні методи аналізу динамічних навантажень забезпечують суттєве підвищення працездатності колісних пар вантажних вагонів. Поєднання аналізу вібраційних характеристик, прогнозних моделей ресурсу та моделювання на основі цифрового двійника створює науково обґрунтовану основу для вдосконалення систем технічного обслуговування. Запропонований підхід дозволяє підвищити безпеку руху, зменшити кількість позапланових ремонтів, продовжити термін служби елементів та оптимізувати експлуатаційні витрати у вантажному залізничному транспорті.

СУЧАСНІ МЕТОДИ ВИПРОБУВАНЬ СПЕЦІАЛЬНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ НА БАЗІ МАШИНИ DUOMATIC 09-32

Нєверов Д. М., магістр

Науковий керівник: Заїка Д. О., доктор філософії.

Національний транспортний університет, м. Київ, Україна

The paper summarizes modern testing methodologies for track maintenance machines using the continuous tamping and lining machine Duomatic 09-32 CSM as an example. Technical characteristics are given, the regulatory framework (national and international standards) is reviewed, and laboratory and field testing methods (hydraulics, vibration testing, track geometry measurement) are described. Practical testing examples and comparison with similar machines are provided. The study shows that combining bench and field tests with automated on-board monitoring increases diagnostic reliability and operational safety.

Сучасні вимоги до якості утримання залізничної інфраструктури вимагають застосування високоточної спеціальної техніки, здатної забезпечувати стабільні показники геометрії колії. Duomatic 09-32 CSM належить до комплексу машин, які дозволяють виконувати технологічні операції безперервним способом, що скорочує час закриття перегонів та підвищує пропускну спроможність.

Актуальність вивчення методів випробувань такої техніки зумовлена необхідністю підтвердження її працездатності, безпеки, відповідності нормативним допускам, а також інтеграції до систем стандартизації, прийнятих у країнах ЄС. В умовах зростання інтенсивності руху та переходу на швидкісне сполучення якість підбивки та рихтування полотна безпосередньо впливає на експлуатаційні показники та ризики відмов.



Рисунок 1 – Duomatic 09-32 CSM на Південній залізниці (Україна).

Конструкція Duomatic 09-32 CSM включає двошпалкові підбивальні агрегати, систему рихтування, вимірювальні датчики, блок стабілізації та автоматизовану систему контролю[1]. Машина здатна виконувати комбіновані операції без зупинки, що забезпечує рівність та стабільність колії на протяжних ділянках. Наявність комп'ютерного комплексу дозволяє зчитувати фактичні параметри положення рейок у режимі реального часу та автоматично коригувати зусилля підбивки. Крім того, система передбачає аварійні режими, самодіагностику та фіксацію даних, що є важливою складовою випробувань та формування технічних протоколів.

Випробування спеціального рухомого складу повинні враховувати як конструкційні вимоги, так і критерії якості виконаних робіт на колії. Стандарти EN 14033[2] та EN 15746[3] описують вимоги безпеки, системи попередження, ергономіку робочих місць, процедури контролю ризиків та експлуатаційні обмеження. UIC-коди регламентують геометрію колії, допустимі відхилення, рівень деформацій та умови післяремонтного допуску перегонів до експлуатації. ДСТУ застосовуються як національна адаптація європейських норм, що забезпечує сумісність сертифікації та інтеграцію в технічні процедури Укрзалізниці. Сукупність регламентів визначає не лише методи перевірки машини, але й вимоги до звітності, маркування, екологічної та технічної відповідності.

Лабораторний етап включає перевірку приводів, насосних станцій, гідравлічних магістралей, механізмів підвіски та вузлів передачі зусилля. Випробування здійснюються під контрольованими навантаженнями з реєстрацією параметрів, що дозволяє виявити відхилення до виходу техніки на колію. Вібраційні тести проводять для оцінки стійкості датчиків, амортизаційних вузлів і панелей управління до тривалих стохастичних коливань.

Польові випробування передбачають створення вимірювального полігону, реєстрацію показників до і після проходу машини, оцінку ущільнення баласту, контроль ширини колії, перекосу, стрілочних зон та стабільності положення рейок після витримки. Використання GPS/лазерних систем дозволяє отримати цифрові карти відхилень, що застосовуються для статистичних і порівняльних аналізів.

Сучасні методи випробувань колійних машин поєднують у собі лабораторні випробування на стендах з автоматизованими польовими тестами та високоточним вимірюванням геометрії, технологічних параметрів колії. Комплексний підхід[4,5] (згідно з ДСТУ, EN, технічними регламентами) дозволяє об'єктивно оцінити продуктивність та надійність машини Duomatic 09-32. Зокрема, відповідність результатів EN 13231-1 забезпечує точність контролю якості підбивки, а дотримання вимог EN 15746-2 і ДСТУ EN 14033-3 гарантує безпечну експлуатацію.

За реальними даними, впровадження наведених методик сприяє підтриманню колії в належному стані і підвищенню оперативної готовності рухомого складу. Методика випробувань Duomatic 09-32 визнається ефективною та достатньо точною: інтеграція бортових комп'ютерів і датчиків значно полегшує налаштування робочих процесів. Крім того, вимірювальні системи, що використовуються, дають високу повторюваність

результатів випробувань. Таким чином, впровадження сучасних випробувальних процедур позитивно впливає на безпеку колійних робіт (зниження ризику неякісного ремонту) і підвищує оперативну готовність спеціальної техніки, забезпечуючи відповідність фактичного стану колії встановленим нормам.

Література

1. Plasser India Pvt. Ltd.. (n.d.). Duomatic 09-32 CSM: Continuous tamping machine. Plasser & Theurer. <https://www.plassertheurer.com>
2. ДП «УкрНДНЦ». (2019). ДСТУ EN 14033-3:2019 (EN 14033-3:2017). Залізничний транспорт. Залізничні колії. Машина для будівництва та обслуговування. Частина 3. Загальні вимоги щодо безпеки. Київ: УкрНДНЦ.
3. European Committee for Standardization. (2020). EN 15746-2:2020. Railway applications. Track. Road-rail machines and associated equipment – General safety requirements. Brussels: CEN.
4. European Committee for Standardization. (2024). EN 13231-1:2024. Railway track. Track geometry. Part 1: Engineering. Brussels: CEN.
5. ДП «УкрНДНЦ». (2022). ДСТУ EN 13146-3:2022 (EN 13146-3:2012). Залізничний транспорт. Колія. Методи випробування систем кріплення. Київ: УкрНДНЦ.

МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ТА ХОДОВИХ ЯКОСТЕЙ ВАНТАЖНОГО ВАГОНА

Мартиненко В. І., аспірант
Науковий керівник: Щербина Ю. В., к.т.н., доц.

Національний транспортний університет, м.Київ, Україна

The study examines modern methods for evaluating the dynamic performance and running qualities of a freight wagon with consideration of the influence of side support parameters. A spatial dynamic model was analyzed to determine displacements, accelerations, and dynamic forces within the “car body – bogie – track” interaction system. The application of vibration spectral analysis made it possible to identify frequency ranges associated with resonance modes and early signs of instability. The assessment of ride quality, derailment stability, and contact forces enabled an evaluation of how stiffness and damping characteristics of side supports affect operational safety. The obtained results demonstrate the significant role of optimizing side support parameters in improving the running qualities of freight wagons and provide a basis for further enhancement of structural solutions and operational efficiency of rolling stock.

Оцінювання динамічних показників вантажного вагона є одним із ключових елементів аналізу його експлуатаційних властивостей, оскільки саме динамічна взаємодія «вагон – візок – колія» визначає стійкість руху, плавність ходу, безпеку та довговічність конструктивних елементів. Сучасні вимоги до вантажних вагонів передбачають здатність працювати на коліях різної якості, з підвищеними швидкостями та навантаженнями, що актуалізує застосування точних методів оцінювання їх динамічної поведінки.

В роботі розглянуто сукупність методів, які дозволяють комплексно оцінити динамічні показники та ходові якості вагона на різних етапах його розроблення та експлуатації. Базовим інструментом є математичне моделювання просторової динаміки вагона. Побудована математична модель враховує основні ступені свободи кузова та візка, характеристики підвищування та параметри взаємодії з колією. На основі цієї моделі визначалися переміщення та прискорення кузова, величини динамічних сил та моментів, що виникають під час проходження нерівних ділянок.

Наступним важливим методом є спектральний аналіз параметрів коливань. Він дозволив виявити частотні діапазони, характерні для вертикальних, горизонтальних та

кутових коливань кузова. Аналіз спектральних характеристик показав, що зміна параметрів бічних опор призводить до зміщення резонансних частот і зміни амплітуд коливань. Це дає змогу оцінити вплив жорсткості та демпфування бічних опор на динамічну поведінку вагона.

Для оцінювання плавності ходу використовувалися показники, визначені нормами UIC та національними стандартами: середньоквадратичні значення прискорень, інтегральні критерії навантаженості та граничні рівні допустимих коливань. Було встановлено, що параметри бічних опор суттєво впливають на горизонтальні прискорення кузова, що особливо проявляється на кривих малих радіусів та ділянках зі зниженими геометричними показниками колії.

Також досліджено коефіцієнти стійкості проти викидання, які є критично важливими для безпечної експлуатації вантажних вагонів. Розрахунки проводилися з урахуванням поперечних сил, що виникають під впливом відцентрових сил та нерівностей колії. Виявлено, що раціональний вибір жорсткісних параметрів бічних опор дозволяє знизити ризик втрати стійкості на підвищених швидкостях та при проходженні кривих.

Окрему увагу приділено використанню моделей нерівностей колії для дослідження різних експлуатаційних сценаріїв. Моделювання проводилося з урахуванням вертикальних та горизонтальних нерівностей за стандартними спектрами PSD. Використання реалістичних моделей колії дозволило точніше оцінити поведінку вагона у складних умовах та визначити параметри, найбільш чутливі до зовнішніх збурень.

Додатковим інструментом оцінювання став аналіз контактних сил у системі «кузов – візок – колія». Розрахунок динамічних коефіцієнтів та контактних напружень дав змогу оцінити рівень впливу рухомого складу на колію та визначити можливі області концентрації навантажень. Було показано, що оптимізація параметрів бічних опор сприяє зменшенню пікових значень контактних сил і покращує рівномірність розподілу навантажень.

Сукупність застосованих методів дозволила комплексно оцінити ходові якості вагона та встановити взаємозв'язок між характеристиками бічних опор і динамічними параметрами. Результати дослідження доводять, що зміна жорсткості, демпфування та геометричних характеристик бічних опор здатна істотно вплинути на плавність ходу, стійкість проти викидання, рівень вібрацій та величину динамічних навантажень на елементи ходової частини.

Отримані висновки формують підґрунтя для подальшої оптимізації конструкції бічних опор з метою підвищення безпеки та ефективності вантажних перевезень, а також можуть бути використані у процесі проектування нових типів вантажних вагонів із покращеними динамічними характеристиками.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКЦІЇ СТІЛОЧНОГО ПЕРЕВОДУ НА ДИНАМІКУ РУХОМОГО СКЛАДУ

Бурак Р.Р., студент гр.ЗТБТ-21

Науковий керівник: Бондаренко І.О., д.т.н., доцент, професор кафедри залізничний транспорт

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

Switches are complex structures, the wear and characteristics of which critically affect the dynamic parameters of the rolling stock, impairing the smoothness of movement and increasing shock loads, which threatens traffic safety. The aim of the work was to conduct comprehensive studies of the influence of the switch design on dynamics in accordance with the requirements of DSTU EN 14363. Experimental studies were conducted on a test site using an inertial measurement system and a model truck to record accelerations (vertical, transverse) within the switch. It was established that the anti-sheath direction of

movement causes higher accelerations than the along-sheath direction. The maximum vertical accelerations are recorded at the root of the points 11.68 m/s^2 , and transverse accelerations are recorded at the tip of the points 5.79 m/s^2 . The results are the basis for developing recommendations for improving switch designs.

Стрілочні переводи, які знаходяться в експлуатації залізничної колії являються складними інженерними конструкціями. Їхні конструктивні особливості мають безпосередній вплив на динамічні параметри при русі рухомого складу по стрілочному переводу. До цих параметрів відноситься погіршення плавності руху рухомого складу, підвищений рівень вібрацій, виникнення додаткових динамічних навантажень та їх вплив на забезпечення безпеки руху поїздів.

Динамічні параметри рухомого складу при русі по стрілочному переводу, ще більше погіршуються у випадку зносу конструктивних елементів стрілочних переводів таких як хрестовин та стрілок. У випадку викришування металу на робочих поверхнях кочення стрілочного переводу зростають ударні навантаження, що спричиняють підвищений знос рухомого складу та конструктивних елементів стрілочного переводу. Тому важливою задачею наукових досліджень є проведення комплексних досліджень впливу конструкції стрілочного переводу залізничної колії на динамічні параметри рухомих об'єктів залізничного транспорту із врахуванням вимог EN 14363, і на основі них можна розробити рекомендацій із удосконалення конструктивних особливостей стрілочних переводів.

Відповідно до норм ДСТУ EN 14363 динамічними параметрами, при випробуванні рухомого складу, є величини бокових та вертикальних сил, відношення бокових сил до вертикальних, прискорення візків та кузова рухомого складу та плавність руху.

Одним із методів забезпечення надійності та функціональної безпеки стрілочних переводів при русі рухомого складу є моніторинг стану конструкцій стрілочних переводів.

Для дослідження впливу конструкції стрілочного переводу на динамічні показники проведено експериментальні дослідження на навчальному полігоні із використанням інерційної системи вимірювань. Експерименти проведені у межах стрілки стрілочного переводу та перевідної кривої.

Для оцінювання динамічних показників модельного рухомого складу залізничної колії у межах стрілки стрілочного переводу використано експериментальну методику випробувань із використанням модельного візка.

Система оцінки динамічних параметрів модельного залізничного візка складається із ноутбуку, аналогово-цифрового перетворювача (АЦП) та акселерометра ADXL335.

Програма динамічних експериментальних випробувань модельного залізничного візка передбачала записи прискорень у трьох напрямках коливань.

Запис прискорень відбувався по горизонтальній повздовжній і горизонтальній поперечній осях, а також по вертикальній осі.

За результатами експериментальних досліджень встановлено, що на величину динамічних показників рухомого складу, у межах руху стрілочним переводом, має вплив напрям руху. При русі у протишерстному напрямі величина прискорень є вищою за рух у пошерстному напрямі.

Встановлено, що величина вертикальних прискорень, які виникають на рамі модельного залізничного візка, є вищою у корені вістряків стрілочного переводу, а величина поперечних прискорень у вістрі вістряків. Максимальна величина вертикальних прискорень у протишерстному напрямі руху склала $11,68 \text{ m/s}^2$, а у пошерстному $10,05 \text{ m/s}^2$. Відповідно величина горизонтальних поперечних прискорень склала $5,79 \text{ m/s}^2$ та $5,3 \text{ m/s}^2$.

Результати експерименту підтверджують критичний вплив конструктивних особливостей стрілочного переводу та напрямку руху на динамічні показники рухомого складу, що є основою для подальшого удосконалення конструкцій та моніторингу їхнього стану.

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ГЕОТЕКСТИЛЮ В КОНСТРУКЦІЇ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЗАЛІЗНИЦЬ

Газдун М.М., студент гр.ЗТБТ-21

Науковий керівник: Бондаренко І.О., д.т.н., доцент, професор кафедри залізничний транспорт

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

The reliability of the railway track depends on the condition of the upper and lower structures. A modern engineering solution is the use of geotextiles to strengthen the subgrade, which provides drainage, reinforcement and separation functions. The main advantage is the reduction of ballast clogging and the level of deformations. Purpose of the work: Research and assessment of the effectiveness of geotextiles in the construction of the subgrade in areas with increased dynamic loads, taking into account the requirements of EN 13250. Results of numerical studies: It was established that geotextiles perform a reinforcing function. With an axial load of 20 t: the maximum vertical stresses in the subgrade were 56.88 kPa, and in the geotextile - 17.7 kPa; vertical deformations of the subgrade were 3.24 mm, geotextile - 1.29 mm. Geotextiles improve the stability of the track and provide an economic effect by increasing the maintenance intervals. The use of geomaterials must be justified and comply with the operating conditions.

Довговічна та надійна робота залізничної колії залежить від стану верхньої та нижньої будови колії. Одним із сучасних інженерних рішень при проектуванні та будівництві залізниці є застосування геотекстильних матеріалів. Дослідження застосування геоматеріалу у конструкції колії показують позитивний ефект, який полягає у створенні дренажної функції. Також геоматеріал відіграє роль армуючої та розділюючої функцій у колії.

При застосуванні геотекстилю у конструкції колії досягається основна перевага – це зменшення процесів засмічення баластного шару залізниці. Також у багатьох випадках відбувається зменшення рівня деформацій земляного полотна та покращення дренажних властивостей. Це сприяє підвищенню стійкості колії та зменшенню витрат на ремонт.

Однак є випадки експлуатації колії із геотекстилем коли він не виконує свої функції. Це пов'язано як із якістю, так і правильністю укладання геотекстилю під час ремонтів колії. У такому випадку відбувається накопичення дефектів на залізничній колії. Тому важливою задачею магістерської роботи є дослідження та оцінка ефективності застосування геотекстилю в конструкції земляного полотна залізничної колії на ділянках із підвищеними динамічними навантаженнями.

Аналіз наукових робіт, із заданої задачі досліджень, показав, що у більшості видків геотекстиль виконує дренажну функцію. При цьому ефективність застосування геотекстилю більше проявляються на ділянках колії із слабкими ґрунтами.

Встановлено, що відповідно до вимог європейських норм EN 13250 геотекстилі, або геотекстильні вироби повинні виконувати одну чи декілька з таких функцій у конструкції залізничної колії: фільтрація, розділення та армування.

Результати числових розрахунків та досліджень напружено-деформованого стану конструкції земляного полотна, підсиленої геотекстилем, показали, що максимальні вертикальні напруження у земляному полотні склали 56,88 кПа, а в геотекстилю вони склали 17,7 кПа. При цьому величина максимальних вертикальних деформацій земляного полотна становила 3,24 мм, а вертикальні деформації геотекстилю склали 1,29 мм.

Встановлено, що величина максимальних горизонтальних напружень у тілі земляного полотна при дії осьового навантаження 20 т від рухомого складу ЧС7 складала 22,45 кПа, а у геотекстилю – 4,01 кПа. При цьому величина горизонтальної деформації у земляному полотні складала 1,18 мм.

Проведеними числовими дослідженнями встановлено, що геотекстиль виконує підсилюючу функцію у конструкції земляного полотна залізничної колії, що пояснюється наявністю напружено-деформованого стану геотекстилю при дії рухомого складу залізниці.

У результаті аналізу основних переваг та недоліків застосування геотекстилю у конструкції залізничної колії складено порівняльну схему. У кожному випадку застосування геотекстильних матеріалів повинне бути обґрунтованим. Слід дотримуватися рекомендації, щодо застосування геотекстилю у конструкції колії та умов експлуатації колії.

У довгостроковій перспективі застосування геотекстилю у залізничній колії має також економічний ефект. Цей ефект проявляється у зниженні витрат при ремонтах та обслуговуванні залізничної колії, через збільшення часових інтервалів ремонтів.

Висновки: Геотекстиль покращує стійкість колії та забезпечує економічний ефект через збільшення міжремонтних інтервалів. Застосування геоматеріалів повинне бути обґрунтованим та відповідати умовам експлуатації.

ВПРОВАДЖЕННЯ МЕТОДІВ З ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ ПОЇЗДІВ НА СТАНЦІЯХ ЛЬВІВСЬКОГО РЕГІОНУ

Галич Р.В., студент гр.ЗТБТ-21

Науковий керівник: Бондаренко І.О., д.т.н., доцент, професор кафедри залізничний транспорт

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

The work is devoted to the study of improving the safety of train traffic at the stations of the regional branch of Lviv Railways, which is critically important in conditions of high traffic volumes and integration into the European TEN-T network. The relevance is due to the deterioration of the infrastructure, the human factor and the need to harmonize standards with the EU (TSI, CSM, RAMS). The goal is to develop a set of technical and organizational solutions to reduce risks. A safety model is proposed, which includes predictive monitoring, microprocessor systems of the SCB, ETCS/ERTMS elements, standardization of communications and risk-oriented management. Special attention is paid to the specifics of border stations with mixed track. The main results confirm that digitalization and a phased transition to ETCS are strategic conditions for improving safety and international compatibility.

Забезпечення безпеки руху поїздів є одним із ключових завдань розвитку залізничного транспорту в Україні. У межах регіональної філії Львівська залізниця це питання набуває особливої значущості через високі обсяги транзитного та внутрішнього руху, складну інфраструктуру, маневрові операції та географічні умови. Підвищення безпеки руху має не лише технічний, а й соціально-економічний характер: зменшення аварій, найбезпечніше функціонування інфраструктури, охорона життя працівників і пасажирів. Водночас, існує необхідність впровадження сучасних методів управління безпекою, ризиками, автоматизації та інтеграції європейських стандартів. Робота присвячена комплексному дослідженню проблеми підвищення безпеки руху поїздів на станціях Львівського регіону в умовах активної інтеграції залізничної інфраструктури України до європейської транспортної мережі TEN-T та зростаючих вимог до рівня технічної й організаційної надійності. Актуальність дослідження зумовлена високим ступенем фізичного зносу колійного господарства, стрілочних переводів, пристроїв сигналізації, централізації та блокування, значною часткою інцидентів, пов'язаних із людським фактором, а також необхідністю гармонізації технічних рішень зі стандартами ЄС (TSI CCS, TSI OPE, TSI INF). Додатковим чинником є реалізація масштабних інфраструктурних проєктів — будівництва європейської колії 1435 мм на напрямках Мостиська–Скнилів та Ужгород–Чоп, що актуалізує потребу впровадження систем управління рухом нового покоління, зокрема ETCS/ERTMS.

Об'єкт дослідження – технологічні процеси на станціях Львівського регіону.

Предмет дослідження – методи підвищення безпеки руху, механізми управління ризиком, технологічні та організаційні рішення на станціях регіону.

Мета дослідження – розробка методів та заходів для підвищення безпеки руху поїздів на станціях Львівського регіону, на основі аналізу поточного стану, оцінки чинників ризику та обґрунтування комплексу технічних і організаційних рішень.

У роботі запропоновано модель підвищення безпеки на станціях Львівського регіону, що поєднує технічні рішення (прогнозний моніторинг інфраструктури, мікропроцесорні системи СЦБ, елементи ETCS), організаційні заходи (стандартизація комунікацій, тренажерна підготовка персоналу, культура безпеки), та ризик-орієнтований менеджмент (RAMS, CSM). Запропоновано адаптований алгоритм управління ризиками, який враховує специфіку прикордонних станцій та інфраструктури змішаної колії 1520/1435 мм – Львів, Мостиська-2, Чоп, Ужгород. Описаний алгоритм управління ризиками дає змогу формувати прозорий механізм прийняття рішень, що відповідає вимогам ISO 45001, RAMS та CSM RA. Такий механізм дозволяє не лише оцінювати небезпеки, але й планувати оптимальні заходи реагування, визначати відповідальних осіб та здійснювати регулярний моніторинг результативності впроваджених рішень. Це забезпечує суттєве зниження ймовірності інцидентів, пов'язаних як із технічними відмовами, так і з людським фактором.

Основні результати роботи полягають у визначенні ключових ризиків системи безпеки руху в регіоні, аналізі сучасних європейських технологій контролю та управління рухом, обґрунтуванні необхідності впровадження ETCS/ERTMS на прикордонних дільницях, розробленні комплексу технічних та організаційних заходів для підвищення безпеки та формуванні інтеграційних рішень для вбудовування цих заходів у систему управління безпекою (SMS) регіональної філії. Зроблено висновок, що цифровізація інфраструктури, розвиток культури безпеки та поетапний перехід до ETCS є стратегічними умовами підвищення безпеки, пропускнуєї спроможності та міжнародної сумісності залізничного транспорту України.

ВПРОВАДЖЕННЯ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ПЛІТЕЙ БЕЗСТИКОВОЇ КОЛІЇ В УМОВАХ ЛЬВІВСЬКОЇ ЗАЛІЗНИЦІ

Заяць Р.Ю., студент гр.ЗТБТ-21

Науковий керівник: Бондаренко І.О., д.т.н., доцент, професор кафедри залізничний транспорт

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

In world practice, automated monitoring systems for non-contact track are being actively implemented, using sensors (strain gauges, temperature sensors) and IT technologies (IoT, LoRaWAN) to monitor its condition. For JSC "Ukrzaliznytsia" and especially Lviv Railway (where operation is complicated by climate change and small-radius curves), digitalization of track control is key to improving safety and compliance with European standards. The purpose of the work is to justify the need, develop and recommend the implementation of a comprehensive system for monitoring the temperature-stress state of non-contact track plates on Lviv Railway. The work analyzes the track design and reveals Ukraine's lagging behind international practices (USA, EU, Japan) that use automated continuous control. A concept for a monitoring system has been developed, including a sensor layer, communication channels, and an analytical server with a risk forecasting function. Practical recommendations are provided for placing sensors in high-risk areas and the expected effects are identified: increased track stability, reduced rail theft, and optimized maintenance.

У світовій практиці упродовж останніх десятиліть активно впроваджуються системи моніторингу стану безстикової колії, що базуються на використанні дистанційних та автоматизованих засобів збору даних – тензодатчиків, температурних датчиків, струнних

перетворювачів, інерціальних сенсорів, а також інформаційних технологій IoT, LoRaWAN, GSM та спеціалізованих програмних платформ. Застосування таких систем дозволяє своєчасно виявляти небезпечні температурні режими, прогнозувати ймовірність розвитку критичних ситуацій, зменшувати ризики виникнення аварій та оптимізувати технічне обслуговування інфраструктури. Для АТ «Укрзалізниця» цифровізація контролю плітей безстикової колії є важливою складовою модернізації інфраструктури та підвищення її відповідності європейським вимогам безпеки.

Особливої актуальності впровадження систем моніторингу набуває в умовах Львівської залізниці, де експлуатація колії відбувається в умовах інтенсивних кліматичних змін, значної кількості кривих малого радіуса, зміни конструкцій верхньої будови та значного обсягу пасажирського і вантажного руху. У цих умовах зростає потреба в оперативному контролі за станом плітей, особливо під час літніх температурних піків та міжсезонних переходів. Упровадження сучасних цифрових технологій дозволить підвищити рівень безпеки руху поїздів, зменшити кількість аварійних ситуацій та оптимізувати витрати на утримання колії.

Таким чином, дослідження впровадження й оцінки ефективності систем моніторингу плітей безстикової колії є своєчасним і важливим завданням, що відповідає стратегічним цілям розвитку залізничного транспорту України, вимогам технічної та експлуатаційної сумісності з європейськими стандартами, а також практичним потребам інфраструктурних підрозділів Львівської залізниці.

Об'єкт дослідження – безстикова колія та умови її експлуатації.

Предмет дослідження – процеси формування температурно-напруженого стану рейкових плітей та методи й системи моніторингу, які забезпечують контроль температури, поздовжніх переміщень, напружень та стану баластної призми в умовах реальної експлуатації.

Мета дослідження – обґрунтувати необхідність, розробити та запропонувати рекомендації щодо впровадження комплексної системи моніторингу стану плітей безстикової колії на Львівській залізниці.

У дослідженні проаналізовано конструкцію та принцип роботи безстикової колії, а також вимоги українських і європейських нормативних документів. Показано, що стабільність безстикової колії визначається контролем температури рейок, нейтральної температури плітей, стану баластної призми та ефективністю проміжних скріплень. Традиційні методи огляду забезпечують лише вибірковий контроль і не дозволяють оперативно реагувати на небезпечні зміни.

Порівняння сучасних методів моніторингу в Україні та за кордоном показало суттєву різницю між ручними процедурами, що домінують в Україні, та автоматизованими системами безперервного контролю, які використовують США, країни ЄС та Японія (RSMS, DFOS, Senceive, Pandrol). Міжнародні технології дають змогу визначати напруження та переміщення плітей у реальному часі й прогнозувати розвиток небезпечних станів.

Розроблено концепцію комплексної системи моніторингу, адаптованої до умов Львівської залізниці. Запропоновано архітектуру, що включає сенсорний рівень, канали зв'язку, аналітичний сервер і користувацький інтерфейс. Описано алгоритм: збір параметрів, передача, обробка, аналіз, прогнозування ризиків, формування попереджень та автоматичних звітів. Наведено вимоги до датчиків, їх точності, автономності та захисту.

Надано практичні рекомендації щодо впровадження системи моніторингу. Обґрунтовано вибір місць розміщення датчиків відповідно до рівня ризику (криві малого радіуса, підходи до мостів, ділянки зі зниженим плечем баластної призми, зони з повторним угоном). Описано вимоги до технічного обслуговування системи та визначено очікувані результати: зменшення випадків угому плітей, підвищення стійкості колії, оптимізація регламентних робіт та узгодження з європейськими стандартами.

У цілому робота пропонує комплексне техніко-аналітичне рішення щодо цифрового моніторингу безстикової колії та доводить, що впровадження такої системи здатне суттєво підвищити безпеку руху, зменшити витрати та забезпечити стабільність роботи інфраструктури.

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТЯГОВИХ РЕДУКТОРІВ ЕЛЕКТРОВОЗІВ ЧС-8 ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ РІЗНИХ ЗМАЗОК

Жінчин Ю.А., студент гр.ЗТБТ-21

Науковий керівник: Фалендиш А.П., д.т.н., проф.

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

The design of the traction reducer of the ChS-8 electric locomotive is considered. Regulatory documents are highlighted, which set out the requirements for traction reducers and their repair. The main malfunctions of the gears of traction reducers are identified. Measures are proposed to increase the efficiency of the traction reducers and the most rational measure is selected using the Delphi method - the choice of a rational type of oil for lubrication.

Тяговий редуктор електровозу ЧС-8 представляє собою складний механізм, який складається з двох частин: верхньої та нижньої. У верхній частині на вал напресована мала шестерня і вал обертається в підшипниках, які встановлені в корпусах. При цьому з боку тягового двигуна вал шестерні має повідець. Нижня частина тягового редуктора розташована на осі колісної пари на підшипниках, що знаходяться у втулці зубчастого колеса. Вінець зубчастого колеса, який знаходиться в зачепленні з шестернею тягового двигуна кріпиться до втулки болтами. В цілому редуктор закритий корпусом тягового редуктора, який по конструкції складається також з двох частин: верхньої і нижньої.

До тягових редукторів висуваються особливі вимоги в наступних нормативно-технічних документах щодо ремонту: Правилах капітального ремонту (ЦТ-0120), Правилах технічного обслуговування (ЦТ-0039), Інструкції по зварюванню та наплавленню (ЦТ-0227), ДСТУ 32894 та ін. А згідно з наказом Укрзалізниці від 01.02.2016 за №044 його складові віднесені до продукції, при виробництві якої повинен здійснюватися інспекторський контроль.

Як показує практика, до двадцяти процентів несправностей колісно-моторних блоків електровозів ЧС-8 припадає на тягові редуктори, і більша половина з них на шестерні колеса та двигуна. Поганий контакт між ними визиває збільшення механічних втрат та збільшує їх знос. Разом з тим контакт цих шестерень спричиняє шум та вібрації, які можуть виходити за допустимі норми.

До пошкоджень зубчастих передач тягового редуктора відносяться: руйнування під впливом згинаючих напруг; викрашування робочих поверхонь зубів (питинг); схоплювання (заїдання); механічний знос шестерень та пар тертя; пластична деформація поверхневого шару робочих поверхонь зубів шестерень; хімічний знос. Всі ці ушкодження безпосередньо пов'язані зі змащенням зубів шестерень за виключенням першого.

Тому вирішення проблеми тертя і шуму в зачепленні шестерень редуктора відіграє велику роль. Підвищити надійність тягового редуктора можливо наступними способами:

- підбором матеріалів з поліпшеними механічними властивостями для вузлів редукторів;
- своєчасним виконанням обслуговувань та ремонтів редукторів;
- використанням масла у відповідності з температурними режимами;
- використанням різних присадок до масла;
- зміцненням та обробленням зубів шестерень редуктора.

Експертним методом з використанням методу «Дельфі» для усунення проблеми зносу та зменшення шуму редуктора пропонується вибір оптимального масла для змащення, що допоможе значною мірою запобігти зношуванню зубів шестерень. При цьому мастильні матеріали будуть виконувати і функції зменшення втрат на тертя та охолодження самих шестерень.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГАЛЬМІВНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОЇЗДІВ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ НОВИХ ГАЛЬМІВНИХ КОЛОДОК

Сторожук О.С., студент гр.ЗТБТ-22

Науковий керівник: Фалендиш А.П., д.т.н., проф.

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

The efficiency of the braking systems of electric trains on the railways of Ukraine is considered and the factors that affect its reliability are highlighted. Different types of brake pads are considered and a method for their selection from different types from specific manufacturers is proposed.

Експлуатація моторвагонного рухомого складу на залізницях України показує, що ефективність гальмування та безпека руху в загальній мірі залежить від надійності пари тертя: системи гальмування і стану колісних пар. У процесі експлуатації колісні пари електропоїздів сприймають ряд напруг, які обумовлені наступними факторами: вертикальними навантаженнями від маси екіпажу, направляючими зусиллям, що утримують ходову частину в рейковій колії, тепловим впливом гальмових колодок та ін.

Згідно правил технічної експлуатації залізниць колісна пара являється одним з відповідальних вузлів ходової екіпажної частини електропоїзда. Її стан безпосередньо впливає на безпеку руху поїздів, а сама вона, в процесі експлуатації отримує різні види ушкоджень. Одне з таких ушкоджень пов'язано з недосконалою роботою гальмівної системи, а саме використання колодкових гальм. В прецензійній парі колесо – колодка виникає тертя, в результаті чого підвищуються температурні режими, що може привести до юзу колісних пар [1].

В країні гальмівні колодки різних модифікацій (чавунні, композиційні, змішані) у відповідності з нормативними документами [2] випускають більше чим п'ятнадцять підприємств. Наприклад, вітчизняні композиційні колодки 25610-Н, 2ТР-11, 2ТР-11 ЦМК серійно виготовляються білоцерківським заводом «Трібо» в двох варіантах виконання: азбестовому та без азбестовому. З врахуванням плюсів та мінусів колодок з чавуну і композитів раціональним буде їх поєднання в одну колодку.

Для вибору оптимального типу колодки конкретного виробника пропонується методика вибору на основі методу аналізу ієрархій, яка складається з трьох етапів. На першому етапі з усіх критеріїв вибору вибирають найбільш важливий критерій для першого рівня ієрархії. На другому рівні ієрархії вибирають показники, які найбільш точно характеризують гальмівну колодку для досягнення цілей по критерію, який був вибраний раніше. До таких показників віднесено: маса колодки, тип колодки, вартість колодки. На третьому рівні ієрархії наводиться масив колодок різних виробників. На другому етапі виконуються роботи по визначенню пріоритетів всіх елементів ієрархії при використанні методу парних порівнянь. В результаті отримується матриця парних порівнянь. На третьому етапі здійснюється ієрархічний синтез. Вирахування векторів пріоритетів проводиться від нижніх рівнів до верхніх. В результаті буде вибраний раціональний тип колодок для їх експлуатації.

Список літератури

1. Шелейко, Т. В. Дослідження пошкоджуваності колісних пар вантажних вагонів в експлуатації через вплив колодкової гальмівної системи [Текст] / Т. В. Шелейко // 36. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків, 2011. – Вип. 123. – С. 152-159.
2. ДСТУ EN 15328:2022 Залізничний транспорт. Гальма. Гальмівні колодки (EN 15328:2020, IDT).

ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ РЕМОНТНИХ РОБІТ ТА ЇХ ВАРТОСТІ ПРИ ОЦІНЦІ ВАРТОСТІ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ТЕПЛОВОЗІВ ТИПУ М62

Андросюк О.А., студент гр.ЗТБТ-21

Науковий керівник: Фалендиш А.П., д.т.н., проф.

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

The paper considers the issues of determining the components of the life cycle of mainline diesel locomotives of the M62 type. An analysis of the types of modernization of this diesel locomotive is made. The estimated period of the diesel locomotive's service life is determined and the frequency and number of technical maintenance and repairs for diesel locomotives of various modifications are calculated.

При оцінці вартості життєвого циклу рухомого складу немаловажне значення відіграє система технічного обслуговування та ремонту рухомого складу [1]. Впровадження нових технологічних рішень в конструкцію тепловозів в основному визиває зміну періодичності їх обслуговування та ремонту. Особливо це видно на прикладі модернізації тепловозів типу М62, які відносяться до другого покоління рухомого складу. На даний час для цих тепловозів виконано понад десятки різних видів модернізації. Особливий інтерес представляє модернізація цього тепловоза в локомотивному депо Ковель по проекту Rail Polska (рис.1). В ході ремоторизації штатні дизеля 14Д40 були замінені на двохтактні 16-ти циліндрові дизеля типу EMD-645E3C потужністю 2238 кВт (1900кВт на ободі колеса, на противагу 1400кВт) та кращими паливо-економічними та екологічними характеристиками. Деяких змін зазнали і інші системи тепловозу.



а

б

Рисунок 1 – Тепловози типу М62:

а – штатний тепловоз М62; б – модернізований тепловоз М62М

Періоди обслуговування та ремонту нових вузлів задані іншими виробниками і відрізняються від існуючих. Тому доцільно визначити їх кількість та вартість і порівняти з існуючими. Усім тепловозам М62 технічне обслуговування та поточні ремонти виконуються по планово-попереджувальній системі ремонту [2] з врахуванням міжремонтних пробігів вузлів, заданих заводами-виробниками.

Розглянемо розподіл ремонтних робіт за роками розрахункового періоду. Спочатку визначимо періодичність проведення всіх видів ремонтів та технічного обслуговування. При розрахунках приймаємо, що за період служби тепловоза після його модернізації проводиться один капітальний ремонт. Списання тепловозу виконується при настанні другого капітального ремонту. Розрахунковий період визначаємо за формулою:

$$T_{\text{розр.}} = \frac{2 \cdot L_{\text{період}}^{\text{КР-1}}}{S_{\text{річн.}}} \quad (1)$$

де $L_{\text{період}}^{\text{КР-1}}$ – норма періодичності виконання капітального ремонту в обсязі КР-1;

$S_{річн}$ – річний пробіг локомотива, км.

Визначення періодичності та кількості технічних обслуговувань та ремонтів виконуємо за методикою, яка наведена в праці [3]. Результати розрахунку кількості технічних обслуговувань та ремонтів представлено в табл.1.

Таблиця 1 – Розподіл кількості робіт за роками розрахункового періоду, М62/М62М

Рік розрахункового періоду	Вид ремонту та технічного обслуговування				
	ТО3	ПР1	ПР2	ПР3	КР1
1	21 / 14	4 / 3	- / 1	1 / -	-
2	21 / 14	4 / 3	1 / -	- / -	-
3	21 / 14	4 / 3	- / 1	1 / -	-
4	21 / 14	4 / 3	1 / -	- / 1	1 / -
5	21 / 14	4 / 3	- / 1	1 / -	-
6	21 / 14	4 / 3	1 / -	- / -	- / 1
7	21 / 14	4 / 3	- / 1	- / -	списання / -
8	- / 14	- / 3	-	- / 1	-
9	- / 14	- / 3	1	-	-
10	- / 14	- / 3	-	-	-
11	- / 14	- / 3	1	-	-
12	- / 14	- / 3	-	-	- / списання

З виконаних розрахунків видно, що за рахунок збільшення міжремонтних пробігів у тепловоза М62М кількість видів ТО-3 та ПР-1 менша чим в існуючого тепловозу М62. Термін служби модернізованого тепловозу майже в два рази більший чим в тепловозу М62, якому був зроблений стандартний капітальний ремонт.

Список літератури

1. Metody otsinky zhyttyevoho tsyклу tyahovoho rukhomoho skladu zaliznyts': Monohrafiya / YE.D. Tartakovs'kyu, S.H. Hryshchenko, YU.YE. Kalabukhin, A.P. Falendysh - Luhans'k: Vydavnytstvo «Znannya», 2011. -174 s.
2. Положення про планово-попереджувальну систему ремонту і технічного обслуговування рухомого складу (локомотиви та моторвагонний рухомий склад) / протокол № Ц-85/25 Ком.т. засідання правління АТ «Укрзалізниця» від 01.05.2023. -Київ: -26с.
3. Експлуатація локомотивів та локомотивне господарство. Організація ремонтного та екіпірувального господарства : підручник / Б. Є. Боднар, М. І. Капіца, Є. Б. Боднар, О. Б. Очкасов ; за ред. д-ра техн. наук, проф. Б. Є. Боднара. – Електрон. вид. – Дніпро : Укр. держ. ун-т науки і технологій, 2022. – 220 с.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО ВИБОРУ ГАЛЬМІВНИХ СИСТЕМ ДЛЯ РЕЙКОВИХ ВАГОНІВ МІЖНАРОДНОГО СПОЛУЧЕННЯ

Рак В.Р., студент гр.ЗТБТ-22

Науковий керівник: Клецька О.В., к.т.н., доц.

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

The issues of using rail buses in suburban transport are considered. An analysis of existing rail buses in the world is made. The RA620M bus is chosen as the base. The main components for the brake system are determined by the expert method.

Використання в приміському сполученні рейкових автобусів з можливістю заходу їх на трамвайні шляхи великих міст являється одним з перспективних варіантів їх ефективної експлуатації. Тому вибір типу рейкового автобусу та його характеристик має

важливе економічне та технічне значення. При цьому характеристики та наявні системи рухомого складу повинні відповідати вимогам Євросоюзу до залізничної техніки, яка прописана у відповідних директивах та технічних вимогах ЄС.

На залізницях різних країн експлуатується велика кількість різних рейкових автобусів. Враховуючи досвід експлуатації на залізницях України рейкових автобусів типу РА620 (рис. 1) виробництва АТ ПЕСА (м. Бидгощ) за базовий варіант автобусу було взято цей тип рухомого складу.



Рис. 1. Загальний вигляд рейкового автобуса РА620М

Оскільки спеціалістів, які знають досконало всі гальмівні системи та їх обладнання, які використовуються на рухомому складі знайти важко, то для вибору обладнання для перспективного рейкового автобусу був використаний метод «Дельфі». В результаті були вибрані наступні типи систем для автобусу:

- для попереднього гальмування використовувати ретардер в три ступені;
- для пневматичного гальма використовувати систему Sab Wabco;
- повітрерозподільвач гальма взяти виробництва Sab Wabco;
- протитюзну систему використовувати виробництва Sab Wabco;
- стоянкове гальмо – пружинне.

В той же час, вимоги по натисненню колодок повинні відповідати інструкції ЦТ-ЦВ-ЦЛ-0015, а інші параметри гальмівної системи повинні відповідати як Правилам технічної експлуатації залізниць України, так і нормативам ЄС.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПІДХОДІВ ПО ВИЗНАЧЕННЮ НАВАНТАЖЕННЯ РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ

Комарницький В.В., студент гр.ЗТБТ-21
Науковий керівник: Клецька О.В., к.т.н., доц.

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

The paper studies the essence of the concept of rolling stock loading and considers traditional and new methods of loading railway rolling stock. The advantages of using new methods in comparison with traditional methods of loading railway rolling stock are also identified.

Один з найважливіших параметрів, який необхідно врахувати в процесі експлуатації рухомого складу залізниць це навантаження на нього. Навантаження впливає на стійкість, керованість, безпеку рухомого складу та його експлуатаційні характеристики.

Ряд методів застосовується для визначення навантаження на рухомий склад залізниць. Від типу рухомого складу, умов експлуатації та вимог до точності визначення навантаження залежить вибір методу.

Найбільш точним методом визначення навантаження є ваговий метод, оскільки він ґрунтується на прямому вимірюванні навантаження. Цей метод застосовується для всіх типів рухомого складу, незалежно від умов експлуатації та їхньої конфігурації. Ваговий метод може використовуватися в різних умовах. Метод визначення навантаження на основі об'єму ґрунтується на вимірюванні об'єму вантажу. Об'єм вантажу вимірюється за допомогою спеціального обладнання, наприклад, ультразвукових датчиків або лічильників вантажу. В більшості країнах ваговий метод є найточнішим методом визначення навантаження на рухомий склад залізниць, при цьому є обов'язковим в деяких випадках, наприклад, для контролю за дотриманням допустимих навантажень на вісь. Метод на основі об'єму, також, використовується в деяких країнах, наприклад, для визначення навантаження на рухомий склад залізниць, що використовують для перевезення рідких або сипучих вантажів [1-3].

Насьогодні спостерігається тенденція до впровадження новітніх технологій та інновацій для визначення навантаження на рухомий склад. Сучасні технології спрямовуються на підвищення ефективності, точності та економічності визначення навантаження на рухомий склад залізниць. Розвиток сенсорів і датчиків є однією з найважливіших тенденцій. Вони дозволяють визначити навантаження на колеса або осі рухомого складу залізниць, вимірюючи рівень деформації елементів рухомого складу або інші параметри, що дозволяє проводити визначення навантаження в динамічному режимі, що є більш ефективним, ніж статичне визначення навантаження. Іншою тенденцією є розвиток штучного інтелекту та систем машинного навчання. Ці технології дозволяють використати великі обсяги даних для підвищення точності визначення навантаження, при цьому, також, допомагають автоматизувати процес визначення навантаження, що підвищує його ефективність.

Існуючі методи визначення навантаження на рухомий склад залізниць мають бути адаптовані до конкретних умов та потреб в конкретній галузі або регіоні. Це може бути зроблено шляхом:

- зміни параметрів методу (для адаптації вагового методу до конкретних умов можна змінити розміри вагових платформ або підвищити точність вимірювань);
- використання додаткових даних (для адаптації методу на основі об'єму до конкретних умов можна використати дані про характеристики вантажу, такі як його щільність або питома вага);
- використання нових технологій (для адаптації інноваційних методів на основі сенсорів і датчиків до конкретних умов можна використати нову методику обробки даних або нові типи сенсорів).

Ваговий метод є найбільш точним методом вимірювання навантаження на рухомий склад залізниць. Однак, ваговий метод є дорогим і трудомістким, оскільки вимагає використання спеціального обладнання [1].

Література

1. Метрологічні характеристики ваг: похибка, дискретність та класи точності [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://vis.ua/metrolohichni-kharakterystyky-vah-pokhybka-dyskretnist-ta-klasy-tochnosti/>
2. Кравець В.В., Гуменюк В.М. Розробка методики визначення навантаження транспортного засобу в експлуатації. Вісник Національного транспортного університету. 2021. № 2(35). С. 135-142.
3. Пасічник А. М. Аналіз проблем та напрямків удосконалення міжнародних перевезень вантажів. Вісник Академії митної служби України. Сер. : Технічні науки. 2010. № 2. С. 56- 62.

МОДЕЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ СТАНУ МАНЕВРОВОГО ТЕПЛОВОЗУ ПРОТЯГОМ СТРОКУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПРИ ВИКОНАННІ МАНЕВРОВОЇ РОБОТИ

Перетятко Ю.Я., студент гр.ЗТБТ-22

Науковий керівник: Клецька О.В., к.т.н., доц.

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

An analysis of the components of the life cycle of the shunting diesel locomotive ChME3 was carried out. To determine the probability of the locomotive being in one of the states and to determine the number of maintenance and repair works, an appropriate model was developed.

Однією із складових вартості життєвого циклу тепловозу ЧМЕЗ при експлуатації його в маневровій роботі є витрати на його обслуговування та ремонт. При визначенні цих витрат необхідно знати кількість видів ТО та ПР тепловозу протягом його експлуатації.

Для вирішення цієї задачі була розроблена модель системи ТО та ПР для тепловозів ЧМЕЗ. При експлуатації маневрових тепловозів на момент часу t тягова одиниця може знаходитись в одному із станів з імовірністю $p_j(t)$. Кожен стан характеризується тривалістю за часом Δt_j та відповідними показниками ефективності $e_j(t)$, які представляють собою змінну величину протягом життєвого циклу. Перехід тепловозу з одного стану в інший характеризується тривалістю за часом Δt_{ij} та відповідною інтенсивністю потоку подій λ_{ij} , які являють собою змінну величину. Таким чином, система функціонування маневрових тепловозів представляє динамічну систему зі стохастичним відношенням між її елементами та іншими системами. Модель системи за таких умов представлена у вигляді відповідного графу станів: $S=\{S_j\}=\{S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8, S_9, S_{10}\}$ (рис. 1).

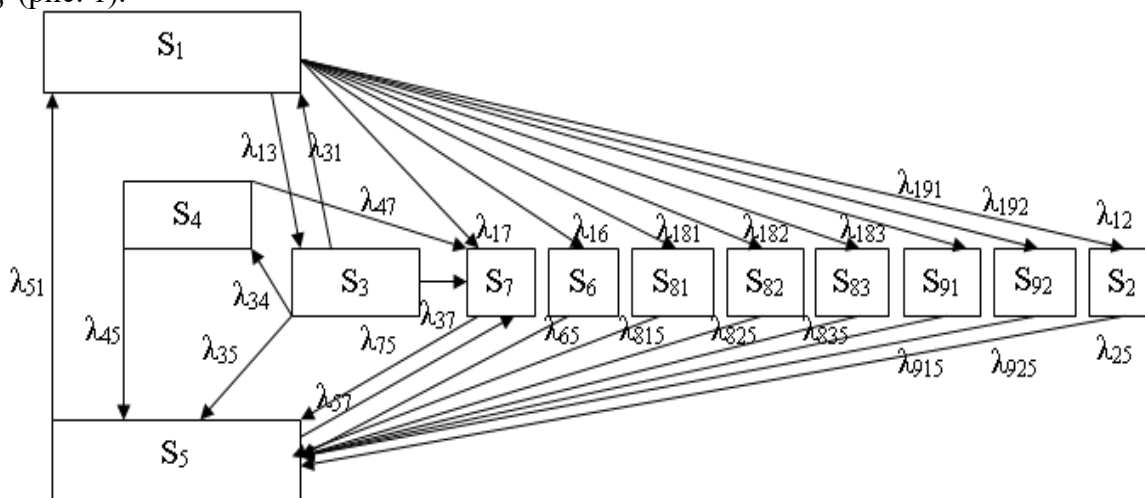


Рис. 1. Граф станів тепловозу ЧМЕЗ протягом технічної експлуатації: S_1 – експлуатація; S_3 – технічне обслуговування ТО-1; S_4 – ТО-2; S_5 – екіпіровка; S_6 – ТО-3, ТО-4, ТО-5; S_7 – позаплановий ремонт; S_{81} – ПР-1; S_{82} – ПР-2; S_{83} – ПР-3; S_{91} – КР-1; S_{92} – КР-2; S_2 – модернізація.

Враховуючи сформований граф процес, який протікає на другому етапі життєвого циклу маневрового тепловозу вважаємо марківським і складаємо відповідну систему рівнянь Колмогорова. Для переходу до моделі функціонування всього парку маневрових тепловозів було прийнято, що процес функціонування являється марківським, стаціонарним та потік переходів подій із i -го стану в j -тий являється ординарним. Для вирішення системи використовувався метод динаміки середніх. Витрати на ТО та ПР тепловозу ЧМЕЗ за період його експлуатації визначається значеннями імовірності знаходження тепловозу ЧМЕЗ у відповідному стані в момент часу t , питомими витратами всіх видів ресурсів на одиницю стану c_{jt} та дисконтування цих витрат α_t .

ВИЗНАЧЕННЯ ГАЛЬМІВНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ ТЕПЛОВОЗІВ ЧМЕЗ ДЛЯ РОБОТИ В ПРИКОРДОННИХ ОБЛАСТЯХ

Мичка Б.В., студент гр.ЗТБТ-22

Науковий керівник: Клецька О.В., к.т.н., доц.

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

The paper analyzes the fleet of shunting diesel locomotives of Ukrzaliznytsia. The feasibility of modernizing diesel locomotives with modern equipment for operation on the railways of other countries is shown. The expert method recommends installing a brake system from the manufacturer DAKO on the modernized diesel locomotives.

Більше 90% парку маневрових тепловозів локомотивного парку «Укрзалізниці» складають тепловози серії ЧМЕЗ (рис.1). На момент 1991 року їх нараховувалось більше трьох тисяч одиниць. Вони експлуатуються також на підприємствах промислового транспорту. При цьому всі вони виробили свій строк служби, тому потребують модернізації.



Рис. 1. Вигляд тепловозу ЧМЕЗ до модернізації

Поряд зі штатною модернізацією (при виконанні капітальних ремонтів з продовженням строку служби), доцільно виконувати і ремоторизацію або комплексну модернізацію сучасним імпортним обладнанням. Оскільки ми хочемо приймати участь в міжнародних залізничних перевезеннях, то доцільно модернізацію виконувати з врахуванням директив та вимог ЄС. При цьому необхідно, щоб модернізовані тепловози відповідали і вимогам вітчизняних залізниць.

В країнах ЄС використовується колія різної ширини. Україна межує з країнами, де колія 1435 мм. Звідси і різні вагові норми поїздів та їх довжина, що потребує вузлів іншої продуктивності. Особливо це стосується гальмівної системи.

Для модернізації тепловозу ЧМЕЗ експертним методом була вибрана гальмівна система DAKO. Особливістю її є використання частини гальмівного обладнання даного виробника. Так, для автоматичного гальма використовуються: повітрерозподільник (DAKO-LTR 8"), реле тиску (DAKO-TR1), гальмівний кран (DAKO-BSE), локомотивний випускний клапан (DAKO-OL2). В прямодіючому гальмі встановлено реле тиску (DAKO-TR1) та контролер гальма (НН 226 (Alfa Union)). В якості гальмівного компресора використовується компресор типу - Mattei M 111 Н, який необхідно перевірити по ефективності роботи на залізницях України.

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ДІАГНОСТИКИ ТА МОНІТОРИНГУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Дибка О. Т., аспірант

Науковий керівник Молчанов В. М., к.т.н., доц.

Національний транспортний університет, м.Київ, Україна

The paper presents modern approaches to diagnosing and monitoring the technical condition of railway earthworks under increasing operational loads and infrastructure risks. The study describes the capabilities of geophysical, geodetic, instrumental and remote sensing methods, including ground-penetrating radar, GNSS measurements, laser scanning and UAV-based surveying. Special attention is given to the use of artificial intelligence for processing large monitoring datasets and to the development of digital twins that enable forecasting deformation processes and evaluating the behavior of the earthwork structure under various operational scenarios. The results demonstrate that the integrated application of advanced monitoring technologies significantly enhances the accuracy of condition assessment, ensures early detection of hazardous processes and provides a scientific basis for improving the operational reliability of railway infrastructure.

Залізничне земляне полотно є фундаментальною частиною інфраструктури, що сприймає та розподіляє навантаження від рухомого складу. Його технічний стан визначає плавність руху, безпеку перевезень і довговічність верхньої будови колії. В умовах зростання швидкостей руху поїздів, збільшення осьових навантажень, кліматичних змін та інтенсивних експлуатаційних впливів традиційні методи контролю стану земляного полотна – візуальні огляди й епізодичні геодезичні вимірювання – стають недостатніми. Вони не забезпечують своєчасного виявлення небезпечних деформацій, розвитку просідань, зсувів, розмокання ґрунтів або зміни структурної міцності. Тому актуальним є впровадження сучасних методів діагностики та постійного моніторингу, які забезпечують підвищену точність оцінки стану та попередження аварійних ситуацій.

Серед найбільш перспективних методів слід виділити георадарне зондування, сейсмічні випробування та електророзвідку. Георадарні системи дозволяють оперативно визначати неоднорідності, локальні порожнини, зони розущільнення або накопичення вологи. Сейсморозвідка дає змогу оцінювати модуль деформації ґрунтів та глибину потенційно нестабільних шарів. Електророзвідка ефективна для виявлення водонасичених зон, що становлять ризик сезонних просідань.

Сучасні методи включають лазерне сканування, GNSS-вимірювання, інклінометри, тензодатчики та датчики порового тиску. Високоточні GNSS-системи дозволяють відстежувати міліметрові переміщення укосів та полотна в режимі реального часу. Лідарні технології забезпечують детальне моделювання геометрії земляного полотна та своєчасне виявлення нерівностей або деформацій. Індикатори деформації всередині масиву ґрунту дозволяють контролювати розвиток зсувних процесів.

Дрони зі спектральними камерами, Лідар-сенсорами та фотограмметричними системами значно розширюють можливості огляду протяжних ділянок. Вони дають змогу оперативно отримувати інформацію про зміни поверхні, порушення структури укосів, появу тріщин або надмірної рослинності, що свідчить про зниження дренажної ефективності.

Важливим сучасним напрямом є використання штучного інтелекту для комплексної обробки великих масивів даних, що надходять від систем моніторингу земляного полотна. Завдяки високій пропускну здатності та здатності виявляти приховані закономірності такі алгоритми забезпечують якісно новий рівень аналізу стану інфраструктури. Методи машинного навчання дають можливість автоматично ідентифікувати аномалії у поведінці земляного полотна, включаючи нехарактерні переміщення, зміну деформаційних

параметрів, а також відхилення в структурі ґрунтових масивів, які ще не мають зовнішніх проявів.

Особливу цінність становлять моделі прогнозової аналітики, які дають змогу оцінювати ймовірність розвитку деформацій, визначати періоди підвищених ризиків та формувати рекомендації щодо пріоритетності ремонтних робіт. У поєднанні з даними про кліматичні умови, водонасичення, інтенсивність руху та геофізичні показники вони здатні створювати багатофакторні прогнози, що значно перевищують точність традиційних методів.

Створення цифрових двійників земляного полотна є наступним етапом цифровізації залізничної інфраструктури. Такі моделі враховують геометрію полотна, властивості ґрунтів, параметри дренажу, навантаження від рухомого складу та сезонні фактори. Цифровий двійник дозволяє проводити віртуальні випробування конструкції, аналізувати її поведінку під впливом змінних навантажень, оцінювати критичні зони та моделювати сценарії розвитку дефектів. Це забезпечує можливість раннього попередження про потенційні небезпеки та оптимізації рішень із підсилення або реконструкції земляного полотна.

Застосування штучного інтелекту та цифрових двійників також сприяє побудові інтегрованих систем управління інфраструктурою, де дані моніторингу, моделі прогнозів та інженерні рішення поєднуються в єдиній цифровій платформі. Це дозволяє автоматизувати прийняття рішень, зменшити людський фактор та значно підвищити ефективність експлуатаційного контролю.

Ефективність контролю технічного стану підвищується за рахунок комплексного застосування різних методів та їх інтеграції у єдину інформаційну платформу. Такі системи дають змогу поєднувати геофізичні, геодезичні, дистанційні та інструментальні дані, формуючи повну картину стану земляного полотна.

Таким чином, сучасні методи діагностики та моніторингу земляного полотна забезпечують значно вищу точність оцінювання його технічного стану порівняно з традиційними підходами. Комплексне застосування геофізичних, дистанційних, інструментальних та цифрових технологій дозволяє своєчасно виявляти критичні процеси та прогнозувати їх розвиток. Отримані результати створюють підґрунтя для підвищення експлуатаційної надійності земляного полотна, мінімізації аварійних ризиків та оптимізації системи технічного обслуговування на залізничному транспорті.

ПОРЯДОК ВСТАНОВЛЕННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙ ПО ПІДВИЩЕННЮ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

¹Савич О.О., студент гр.ЗТБТ-22

Науковий керівник: ¹Клецька О.В., к.т.н., доц.

консультант: ^{1,2}Джус О.В., магістр, старший викладач

¹Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

²Львівський науково-дослідний інститут судових експертиз, м. Львів, Україна

The efficient operation of an industrial enterprise constitutes a fundamental prerequisite for its economic advancement. The main loading and unloading operations at the industrial enterprise are carried out at the cargo fronts, and the coordination of all fronts ensures the efficient execution of the tasks assigned to the enterprise for production.

Ефективна робота промислового підприємства – запорука його економічного збагачення. В умовах сьогодення у Єдиному технологічному процесі роботи під'їзної колії повинно зазначатися порядок, послідовність організації подачі, забирання і розставляння вагонів на фронтах навантаження – вивантаження вантажів, норми часу на виконання технічних, вантажних і комерційних операцій на під'їзній колії промислового підприємства. Основна робота з навантаження і вивантаження на промислових

підприємствах передбачена на вантажних фронтах, а узгодженість в роботі усіх фронтів дозволяє чітко виконувати поставлені перед підприємством завдання з виробництва продукції.

Аналіз роботи підприємства за роки повномасштабної війни в Україні, як перший етап в роботі з підвищення ефективності його роботи, покаже тенденцію рівня роботи підприємства, а це можна спочатку побачити з забезпечення виробництва залізничними вагонами. На другому етапі розглянуто модель взаємодії інфраструктурної та рухомої складової при експлуатації рухомого складу, що дозволить на третьому етапі визначити основні характеристики взаємодії інфраструктурної та рухомої складової при експлуатації рухомого складу на промисловому підприємстві.

Проведена робота дасть можливість сформулювати і запропонувати рекомендації по підвищенню ефективності роботи промислових підприємств в Україні. До таких заходів можна віднести:

- удосконалення конструкції залізничного рухомого складу;
- удосконалення системи технічного обслуговування та ремонту рухомого складу та колії на підприємстві;
- підвищення кваліфікації персоналу;
- удосконалення технології перевізного процесу та маневрової роботи на промислових підприємствах.

Кожна з запропонованих рекомендацій буде потребувати проведення аналізу і надання чітких та ефективних технічних роз'яснень, оскільки на їх основі також буде проводитись економічне обґрунтування, але вже в іншій області спеціальних знань для отримання ефекту з удосконалення роботи моделі взаємодії інфраструктурної та рухомої складової промислового підприємства.

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПРИСТРОЇВ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ НА ОСНОВІ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ ТА КОНТРОЛЮ

Ткачук М. С., аспірант

Науковий керівник Кульбовський І.І., к.т.н., доц.

Національний транспортний університет, м.Київ, Україна

The paper examines modern approaches to improving the reliability of railway automation equipment through the analysis of diagnostic, monitoring, and condition-prediction methods. It is shown that traditional scheduled maintenance systems do not ensure timely detection of deviations and do not reflect the actual dynamics of equipment degradation. The study analyzes the potential of streaming data acquisition, signal processing, and intelligent data analysis for identifying early signs of malfunction and enhancing the accuracy of technical condition assessment. Particular attention is given to the application of digital twins, which make it possible to simulate equipment behavior under various operating conditions and generate forecasts of its remaining useful life. The results demonstrate the effectiveness of combining predictive maintenance techniques with digital modeling for reducing failure risks, optimizing maintenance activities, and increasing railway traffic safety. The proposed approaches can be applied in the modernization of railway automation systems and in the implementation of intelligent technologies within transport infrastructure.

Надійність роботи пристроїв залізничної автоматики формується під впливом численних факторів, серед яких домінують конструктивні особливості обладнання, режими та умови його експлуатації, вплив температурних і електромагнітних навантажень, старіння елементної бази, а також обмежена поінформованість про реальний технічний стан окремих вузлів. Традиційні підходи до технічного обслуговування, що

базуються на жорстко регламентованих інтервалах перевірок, не здатні адекватно відображати фактичний рівень зносу. Це призводить до підвищеного ризику раптових відмов, що особливо небезпечно на ділянках із великою інтенсивністю руху, де відмова пристрою може спричинити суттєві затримки та порушення графіка роботи залізниці.

У межах дослідження проведено аналіз сучасних підходів до діагностики та моніторингу стану пристроїв залізничної автоматики, спрямованих на реалізацію концепції прогностного технічного обслуговування. Особливу увагу зосереджено на методах, що забезпечують безперервне спостереження за роботою обладнання, включно з аналізом електричних сигналів, зміною температурних та вібраційних характеристик, а також логічних станів елементів мікропроцесорних і релейних систем. Досліджено можливості потокового збирання даних, їх попередньої обробки та виділення діагностично важливих параметрів, які дозволяють оцінювати динаміку деградації обладнання та виявляти відхилення від нормального режиму роботи.

Під час роботи опрацьовано й систематизовано методи інтелектуального аналізу даних, що застосовуються для визначення ранніх ознак відмов. Встановлено, що сучасні алгоритмічні підходи дозволяють виявляти приховані тенденції у зміні технічних параметрів, реагувати на дрібні відхилення, які не фіксуються традиційними засобами контролю, та формувати обґрунтовані прогнози залишкового ресурсу обладнання. Було з'ясовано, що аналіз часових рядів, методи виявлення аномальної поведінки та моделі прогнозування розвитку несправностей забезпечують можливість визначати ймовірність відмови завчасно. Це створює умови для оптимізації планів технічного обслуговування, скорочення простоїв і зменшення витрат на ремонт.

У ході дослідження також розглянуто перспективи застосування цифрових представлень (цифрових двійників) пристроїв залізничної автоматики. Їх використання дає змогу моделювати поведінку обладнання в різних режимах, аналізувати реакцію на зміну експлуатаційних умов, прогнозувати можливі критичні ситуації та підбирати оптимальні сценарії технічного обслуговування. Поєднання фактичних даних моніторингу з результатами моделювання дозволяє отримати комплексне уявлення про стан обладнання та значно підвищити точність діагностичних рішень.

Результати проведеного аналізу свідчать, що впровадження сучасних інтелектуальних підходів до діагностики й контролю стану залізничної автоматики є ключовою умовою підвищення її надійності. Реалізація таких рішень забезпечує завчасне виявлення потенційних відмов, скорочення часу на пошук причин несправностей та підвищення рівня безпеки руху. Запропоновані підходи можуть бути використані для модернізації існуючих систем, удосконалення нормативних вимог та розробки нових технологічних рішень у сфері автоматизації транспортної інфраструктури.

МОДЕЛІ ОБМІНУ ДАНИМИ МІЖ СТРУКТУРНИМИ ПІДРОЗДІЛАМИ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Кубрак А. В., аспірант

Науковий керівник: Голуб Г.М., к.т.н., доц.

Національний транспортний університет, м.Київ, Україна

The paper examines modern models of data exchange between structural units of railway transport and their role in ensuring coordinated operations, safety, and efficient decision-making. The study highlights the limitations of traditional communication approaches and demonstrates the advantages of digital architectures, unified protocols, and secure information flows. Particular attention is given to centralized and hybrid network models that support reliable interaction, reduce delays, and improve the accuracy of operational processes. The results provide a foundation for modernizing information exchange systems in the railway sector.

Ефективна організація інформаційних потоків між структурними підрозділами залізничного транспорту є ключовою умовою стабільної роботи всієї транспортної системи. Залізнична галузь характеризується високим рівнем взаємозалежності між службами перевезень, інфраструктури, електропостачання, сигналізації та зв'язку, ремонтних підрозділів і логістичних центрів. Будь-які затримки або неточності в передачі даних можуть призвести до збоїв у графіках руху, підвищення ризику аварійних ситуацій та збільшення операційних витрат. Це формує проблему дослідження, пов'язану з необхідністю створення сучасних, узгоджених і захищених моделей обміну інформацією, здатних функціонувати у складних технічних та організаційних умовах залізничного транспорту.

У роботі розглянуто фундаментальні підходи до моделювання інформаційних потоків у залізничних організаційних структурах. Традиційні моделі взаємодії базуються на функціональному розподілі обов'язків і лінійних каналах передачі інформації, де основні повідомлення надходять у вигляді звітів, заявок, графіків або технічних протоколів. Такий підхід забезпечує формальну узгодженість, проте в сучасних умовах показує низьку реактивність, обмеженість у масштабуванні та значні ризики дублювання або втрати даних, особливо в критичних режимах роботи інфраструктури.

Сучасні моделі обміну даними орієнтуються на інтеграцію цифрових платформ, які дозволяють організовувати багаторівневі та багатоканальні інформаційні зв'язки. Значну роль відіграють мережеві моделі, що забезпечують обмін технологічною інформацією в реальному часі, включаючи дані про рух поїздів, стан стрілочних переводів, доступність перегонів, енергетичні режими, напругу контактної мережі та параметри мікропроцесорних систем управління. У таких моделях передбачено узгоджений протокол взаємодії, що забезпечує єдність даних між службами та унеможливорює суперечливі повідомлення.

Окрему увагу приділено моделі централізованої координації, у якій інформаційні потоки збираються, аналізуються та розподіляються через єдиний цифровий центр управління. Такий підхід забезпечує оперативне прийняття рішень на основі повної картини стану транспортного процесу. У роботі описано, як централізовані та децентралізовані моделі взаємодії можуть поєднуватись в рамках гібридної архітектури, що дозволяє підтримувати високу стійкість системи і доступність даних навіть у випадку часткових відмов або порушень у роботі інфраструктури.

Важливим аспектом є кібербезпека обміну даними, оскільки транспортні системи стають дедалі більш залежними від цифрових технологій. Проаналізовано методи шифрування, автентифікації та виявлення аномалій, які гарантують цілісність та захищеність переданої інформації. Значну увагу приділено питанням захисту каналів зв'язку мікропроцесорних систем сигналізації та централізації.

Узагальнення результатів дослідження показує, що підвищення ефективності інформаційної взаємодії між структурними підрозділами залізничного транспорту можливе за умови переходу до гнучких цифрових моделей, які забезпечують узгодженість, оперативність та повну інтеграцію даних. Розвиток таких моделей створює підґрунтя для підвищення безпеки руху, оптимізації оперативного управління та зменшення витрат на утримання інфраструктури.

Таким чином, проведене дослідження показує, що сучасні моделі обміну даними є ключовими для узгодженої роботи структурних підрозділів залізничного транспорту. Цифрові архітектури та уніфіковані протоколи забезпечують швидкий і надійний обмін інформацією, що підвищує безпеку, ефективність управління та якість технологічних процесів. Отримані результати можуть слугувати основою для подальшої модернізації систем інформаційної взаємодії залізничної галузі.

МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ КОМУНІКАЦІЯМИ У КЛАСИЧНИХ І ГНУЧКИХ ПІДХОДАХ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЄКТІВ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Рибаченко Я. М., аспірант

Науковий керівник: Кульбовський І. І., к.т.н., доц.

Національний транспортний університет, м.Київ, Україна

The paper examines communication management models used in railway transport projects and analyzes their effectiveness within classical and agile approaches. The study identifies the specifics of information interaction among stakeholders in infrastructure and digital projects, as well as key risks related to delays, data duplication and insufficiently structured communication flows. It is shown that the choice of a communication model must correspond to the complexity of technical tasks and the level of uncertainty. The research justifies the use of hybrid communication approaches that combine the strengths of both models and enhance the efficiency of project implementation in the railway sector.

Проекти у сфері залізничного транспорту характеризуються високою складністю, багаторівневою структурою та значною кількістю зацікавлених сторін, що створює підвищені вимоги до організації інформаційних комунікацій. Недостатня узгодженість між учасниками, затримки або викривлення інформації, відсутність прозорих каналів взаємодії та неефективні процедури обміну даними можуть спричинити суттєві порушення технологічних процесів, збої в реалізації робіт, підвищення ризиків та зростання витрат. Наявні комунікаційні практики, що ґрунтуються на класичних або гнучких підходах, по-різному впливають на якість управління проєктами, однак їхня ефективність у контексті складних технічних проєктів залізничного транспорту досі недостатньо досліджена. Відсутність комплексної моделі, яка б враховувала специфіку залізничної галузі, рівень невизначеності, технічну складність та потребу в оперативній взаємодії, створює проблему вибору оптимальної системи управління комунікаціями. Це зумовлює необхідність наукового аналізу моделей комунікацій, визначення їх сильних і слабких сторін та формування рекомендацій щодо побудови ефективної гібридної моделі для управління комунікаціями у проєктах залізничного транспорту.

Ефективне управління комунікаціями є одним із ключових чинників успішної реалізації проєктів у сфері залізничного транспорту. Такі проєкти охоплюють значну кількість зацікавлених сторін, серед яких інженери, підрядні організації, експлуатаційні служби, IT-підрозділи, органи державного контролю та фінансові структури. Якість інформаційної взаємодії між цими учасниками безпосередньо впливає на дотримання строків виконання робіт, ефективність використання бюджету, рівень безпеки та величину технічних ризиків. У зв'язку з цим зростає потреба у ґрунтовному аналізі моделей комунікацій, що застосовуються в класичних і гнучких підходах до організації проєктної діяльності.

Класичні підходи, зокрема Waterfall, PRINCE2 та інші каскадні методики, ґрунтуються на ієрархічному управлінні інформаційними потоками, чітко структурованих планах комунікацій і використанні стандартизованої документації. Вони забезпечують високий рівень передбачуваності та керованості процесів, що є особливо важливим для таких проєктів залізничної інфраструктури, як модернізація колій, реконструкція станцій, будівництво інженерних споруд і оновлення систем сигналізації. Формалізовані правила комунікацій мінімізують ризики помилок у складних технічних системах і сприяють злагодженості роботи всіх учасників.

Гнучкі підходи, до яких належать Agile, Scrum і Kanban, орієнтовані на оперативну комунікацію, циклічний обмін інформацією та безперервну взаємодію в команді. Подібні моделі особливо корисні у цифрових проєктах залізничної галузі, що охоплюють створення інформаційних систем, інтелектуальних платформ моніторингу, цифрових двійників інфраструктурних об'єктів та програмних модулів автоматизації. Вони забезпечують швидку адаптацію до змін, поліпшують прозорість процесів і підвищують

продуктивність команд за рахунок регулярних нарад, коротких комунікаційних циклів і використання інтерактивних інструментів спільної роботи.

Порівняльний аналіз моделей двох підходів дав змогу визначити їх ключові властивості. У класичних підходах важливими складовими є матриці відповідальності, регламентовані канали передачі інформації, формалізовані звіти та затверджені схеми інформування. У гнучких підходах основою є регулярні короткі зустрічі, безперервний обмін інформацією, цифрові простори співпраці та інструменти візуального управління завданнями.

Особливу увагу приділено ризикам комунікацій, пов'язаним з інформаційними затримками, дублюванням повідомлень, втратою важливих даних, надмірним інформаційним навантаженням і недостатньою структурованістю процесів взаємодії. Дослідження демонструє, що невірно обрана модель комунікацій може спричинити порушення строків, виникнення конфліктів між учасниками, помилки в технічних рішеннях і загальне зниження якості виконання проєкту.

Таким чином, ефективність інформаційних комунікацій у проєктах залізничного транспорту визначається відповідністю моделі управління характеру робіт, рівню невизначеності, складності технічних завдань і швидкості змін у проєктному середовищі. Найбільш результативним підходом для великих інфраструктурних проєктів є комбінування класичних і гнучких елементів, оскільки така гібридна модель зберігає дисципліну планування і водночас створює можливість оперативної адаптації та підвищує швидкість і якість інформаційної взаємодії.

МОДЕЛЮВАННЯ ПОТОКІВ ДАНИХ І ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИГНАЛІВ У СИСТЕМАХ МОНІТОРИНГУ СИЛОВОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Рябчинський А. М., аспірант

Науковий керівник: Стасюк О.І., д.т.н., проф.

Національний транспортний університет, м.Київ, Україна

The paper presents an analysis of data flow and signal modeling within microprocessor-based monitoring systems for railway power supply equipment. Various types of measurement signals, their structure, frequency characteristics and noise components are examined, along with methods of filtering, preprocessing and feature extraction. Special attention is given to time-synchronized data models and algorithms for detecting early signs of degradation. It is shown that accurate modeling of data streams enables reliable assessment of equipment condition and supports the development of predictive maintenance strategies.

Системи електропостачання залізничного транспорту включають широкий спектр силового електричного обладнання, такого як трансформатори, вимикачі, реактори, кабельні лінії та інші елементи тягових підстанцій. Кожен із цих елементів працює в умовах інтенсивних режимних навантажень, частих комутаційних процесів, впливу зовнішніх температурних факторів та електродинамічних перехідних процесів. У зв'язку з цим критично важливо забезпечувати постійний контроль їхнього технічного стану. Мікропроцесорні системи моніторингу покликані збирати та обробляти великі обсяги даних, що відображають як нормальні, так і потенційно небезпечні стани обладнання. Якість аналізу цих даних визначає точність діагностики та своєчасність виявлення початкових дефектів.

У роботі розглянуто структуру потоків даних, що формуються у процесі роботи систем електропостачання. Ці потоки включають високочастотні вибірки миттєвих значень струмів та напруг, періодичні вимірювання температурних параметрів, стан ізоляції, величини струмів витоку та інші показники. Дані можуть надходити з різною

частотою, що створює виклики щодо їхньої синхронізації та обробки. Для кожного типу сигналів існують свої вимоги до точності, швидкодії та обробки, що зумовлює необхідність побудови адаптивних інформаційних моделей з урахуванням характеристик обладнання та умов роботи.

Особливу увагу приділено алгоритмам попередньої обробки сигналів, які є ключовою складовою систем моніторингу. На практиці вимірювальні дані часто містять завади, електромагнітні перешкоди, шумові компоненти та одиничні аномальні сплески, які можуть помилково інтерпретуватися як дефекти. Для усунення таких явищ використовуються цифрові фільтри низьких та високих частот, медіанні та адаптивні фільтри, методи вейвлет-аналізу, спектральний розклад Фур'є. Попередня обробка дозволяє виділити інформативні ділянки сигналу, сформувати набір діагностичних ознак та підвищити надійність подальших аналітичних алгоритмів.

Розглянуто моделі потоків даних у часовому та частотному доменах, що описують зміну параметрів обладнання під впливом експлуатаційних навантажень. Моделі враховують динаміку теплових процесів у трансформаторах, електромеханічні коливання в реакторах, старіння ізоляції в кабельних лініях, а також зміни гармонічного складу струмів під час відхилень у режимах роботи. Важливим елементом таких моделей є визначення граничних рівнів та порогів, що сигналізують про небезпечні відхилення, які можуть свідчити про наближення аварійних станів.

У системах моніторингу важливо забезпечити синхронізацію потоків даних між різними вимірювальними вузлами. На тягових підстанціях та лінійних об'єктах дані надходять з різною частотою й затримками, тому моделі часових рядів, алгоритми інтерполяції та методи корекції часових позначок дозволяють узгодити інформацію та виконати її комплексний аналіз. Додатково застосовуються алгоритми машинного навчання – зокрема методи кластеризації, регресії та виявлення аномалій, які здатні виявляти ранні ознаки деградаційних процесів та прогнозувати залишковий ресурс обладнання.

Таким чином, моделювання потоків даних і вимірювальних сигналів є центральним компонентом інтелектуальних систем моніторингу, оскільки забезпечує достовірну оцінку технічного стану силового електрообладнання, дозволяє виявляти приховані несправності на ранніх етапах та створює підґрунтя для прогнозування його залишкового ресурсу. Це відкриває можливості для переходу до предиктивного технічного обслуговування, оптимізації ремонтних процесів та підвищення загальної надійності систем електропостачання залізничного транспорту.

РОЛЬ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАЛІЗНИЦЬ

Троянівський В. І., аспірант

Науковий керівник: Гончарова Л.Л., к.т.н., доц.

Національний транспортний університет, м.Київ, Україна

This report examines the growing role of computer networks in improving the energy efficiency of railway power-supply systems. Modern railway infrastructure increasingly relies on high-speed data exchange, real-time monitoring, and intelligent control algorithms to reduce energy losses and ensure stable operation of traction and auxiliary equipment. Computer networks enable continuous acquisition of electrical parameters, integration of smart metering devices, and implementation of adaptive control strategies that optimize transformer operation, compensate reactive power, and support efficient use of regenerative braking energy. Special attention is given to the formation of digital twins of power-supply systems, predictive analytics based on historical data, and the use of standardized communication protocols to unify information flows. The study shows that the

development of network-centric architectures significantly enhances monitoring capabilities, supports automated decision-making, and forms the technological foundation for creating intelligent, energy-efficient railway power-supply systems.

Комп'ютерні мережі є фундаментальним елементом сучасних систем електропостачання залізничного транспорту, оскільки забезпечують безперервний обмін інформацією між вимірювальними, керувальними та диспетчерськими вузлами. У контексті енергозбереження їх роль набуває стратегічного значення, оскільки оптимальне управління енергетичними процесами неможливе без своєчасного доступу до точних даних, високошвидкісної передачі сигналів і використання інтелектуальних алгоритмів аналізу.

Одним із ключових завдань комп'ютерних мереж є організація системи оперативного моніторингу електричних параметрів тягових і нетягових навантажень. Дані щодо напруги, струмів, температури, стану ізоляції, режимів трансформаторів і силових вимикачів збираються в реальному часі із десятків або сотень сенсорів. Використання мережевих протоколів дозволяє передавати ці дані з мінімальними затримками до центрів керування, де вони аналізуються автоматизованими системами. Такий підхід забезпечує можливість негайного реагування на відхилення, запобігання аварійним режимам і зменшення втрат електроенергії.

Істотний внесок комп'ютерних мереж полягає у підтримці систем інтелектуального керування режимами електропостачання. Алгоритми оптимізації використовують дані, отримані через мережу, для вибору найефективніших режимів роботи підстанцій, управління перемиканням ступенів трансформаторів, оптимізації роботи компенсуючих установок і мінімізації втрат потужності. У цьому контексті мережі забезпечують функціонування адаптивних систем регулювання, які автоматично коригують режими роботи відповідно до поточного навантаження та стану інфраструктури.

Важливим напрямом є використання комп'ютерних мереж для реалізації прогнозних моделей енергоспоживання. За допомогою великих масивів історичних даних, які накопичуються в мережевих системах зберігання, можна формувати точні прогнози пікових навантажень, інтенсивності руху поїздів, рівня рекуперації та можливих перевантажень мережі. Ці прогнози використовуються для оптимізації графіків живлення, планування роботи обладнання та визначення резервів енергозбереження.

Комп'ютерні мережі також дозволяють інтегрувати різні компоненти енергетичної системи у єдиний інформаційний простір. Сучасні концепції "розумних підстанцій" та Smart Grid передбачають взаємодію цифрових вимірювальних пристроїв, контролерів, силових модулів, систем релейного захисту та SCADA з використанням стандартизованих протоколів (IEC 61850, Modbus TCP, IEC 60870-5-104). Завдяки цьому забезпечується уніфікована структура даних, можливість швидкого аналізу стану мережі та автоматизоване прийняття рішень для економії енергії.

Окреме значення має роль комп'ютерних мереж у підвищенні ефективності рекуперації енергії. Дані про режим руху поїздів, профіль колії, характеристики тягових підстанцій та параметри рекуперативних ділянок передаються через мережу до оптимізуючих модулів, що дозволяє обирати режими рекуперації, які мінімізують втрати та забезпечують повторне використання енергії гальмування.

Важливо також відзначити, що комп'ютерні мережі забезпечують основу для побудови цифрових двійників систем електропостачання. Це дозволяє візуалізувати режими роботи обладнання, моделювати аварійні та ненормативні ситуації, прогнозувати енергетичні витрати та оптимізувати конфігурацію мережі. За допомогою таких цифрових моделей можна оцінювати ефективність різних стратегій енергозбереження перед їх впровадженням.

Таким чином, комп'ютерні мережі є ключовою технологічною платформою для впровадження енергоощадних рішень у системах електропостачання залізниць. Вони забезпечують комплексний моніторинг, автоматизацію управління, прогнозування

енергетичних процесів, оптимізацію режимів роботи обладнання та інтеграцію сучасних цифрових технологій. Розвиток мережевої інфраструктури створює умови для формування інтелектуальних енергетичних систем, здатних суттєво зменшити витрати електроенергії та підвищити ефективність залізничного транспорту.

МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ АНОМАЛІЙ У ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖАХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Гринько М. О., аспірант

Науковий керівник: Гончарова Л.Л., к.т.н., доц.

Національний транспортний університет, м.Київ, Україна

The paper examines modern approaches to detecting anomalous operating modes in the power supply networks of railway transport, which are subject to significant loads and external influences. Special attention is given to real-time analysis of electrical parameters, the application of spectral and time–frequency methods, and the use of machine learning for automatic anomaly detection and prediction of fault development. The study highlights the potential of clustering techniques, anomaly-detection models and neural networks for diagnosing abnormal states of traction substations and overhead contact systems. The role of network-based models and digital twins in simulating system behavior under various scenarios is also discussed. The results show that integrating intelligent diagnostic methods significantly enhances power-supply reliability, enables early identification of hazardous processes, and improves the overall stability of railway infrastructure.

Системи електропостачання залізничного транспорту забезпечують живлення тягових електродвигунів та об'єктів інфраструктури і є ключовим елементом безпечної та безперебійної роботи залізничних перевезень. У сучасних умовах інтенсивного руху, зростання потужності рухомого складу, старіння обладнання та посилених зовнішніх впливів (кліматичних, техногенних, експлуатаційних) в енергосистемах залізниці дедалі частіше виникають нестандартні режими роботи. Ці аномалії проявляються у вигляді різких змін струму та напруги, порушення симетрії, ненормативних пускових процесів, перегрівання контактної мережі та вібронавантаження елементів інфраструктури. Несвоєчасне їх виявлення може призвести до серйозних відмов, порушення графіка руху поїздів та значних економічних втрат.

Одним із провідних напрямів сучасної діагностики є глибинний аналіз електричних сигналів у режимі реального часу. Завдяки високочастотному моніторингу параметрів мережі, включно зі струмом, напругою, активною та реактивною потужністю, а також спектральним складом гармонік, стає можливим виявлення як стійких, так і короткочасних аномальних режимів. Методи спектрального розкладу, фур'є-перетворення та вейвлет-аналіз забезпечують виявлення швидкоплинних процесів, характерних для роботи електрорухомого складу у динамічних режимах.

Широкого застосування набувають методи машинного навчання, які дозволяють автоматично виявляти відхилення від типових режимів роботи. Алгоритми кластеризації використовуються для поділу електричних режимів на нормальні та аномальні, тоді як моделі виявлення аномалій, такі як нейронні автоенкодери, ізоляційні ліси або однокласові SVM, здатні виявляти слабовиражені, але небезпечні тенденції деградації обладнання. Важливим є застосування рекурентних нейронних мереж для аналізу часових рядів, які дозволяють прогнозувати розвиток аномалій і передбачати можливі відмови ще на ранніх стадіях їх формування.

Суттєву роль відіграють кореляційно-статистичні та параметричні методи, що дають змогу аналізувати узгодженість роботи обладнання на різних ділянках мережі. Наприклад, порівняння фазових напруг, середньоквадратичних значень струму та розподілу

навантаження дозволяє встановити локальні або системні порушення. Такі методи є ефективними у випадках, коли необхідно виявити аномалії, що не супроводжуються очевидними короткими замиканнями, але можуть свідчити про початок деградації обладнання.

Перспективним є застосування топологічних і мережевих моделей, у яких система електропостачання залізниці розглядається як комплексний граф. Вузлові моделі дозволяють визначити інфраструктурні елементи, критичні для стійкості мережі, а також оцінити, як локальна аномалія може поширюватися на інші елементи системи та впливати на роботу тягових підстанцій і поїздів.

Окрему увагу привертає впровадження цифрових двійників систем електропостачання, тобто цифрових моделей, що точно відтворюють роботу мережі з можливістю інтегрувати дані в режимі реального часу. Цифровий двійник дозволяє тестувати поведінку системи за різних сценаріїв навантаження, моделювати аварійні процеси та оцінювати наслідки виникнення аномалій. Це значно підвищує точність діагностики та дає змогу оптимізувати графіки технічного обслуговування.

Таким чином, сучасні методи виявлення аномалій у системах електропостачання залізничного транспорту поєднують аналітичні інструменти, штучний інтелект, мережеве моделювання та цифрову діагностику в реальному часі. Інтеграція цих підходів забезпечує своєчасне виявлення небезпечних режимів, підвищує надійність тягових мереж, мінімізує ризики аварій та сприяє стабільній роботі залізничного транспорту навіть у складних експлуатаційних умовах.

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ ТЕПЛОВОЗІВ СЕРІЇ М62 ВІДПОВІДНО ДО ВИМОГ ІНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТІ

Гаптар Г.О., магістр

Науковий керівник: Болжеларський В. В., к.т.н., доц.

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

The project for the modernization of M62 series diesel locomotives has been analysed. Compliance of the main technical and functional parameters of the modernized diesel locomotive with the TSI and other regulatory documents has been assessed. Their conformity with the considered requirements has been confirmed. The modernization project may be adopted as a baseline solution for the modernization of domestic diesel locomotives.

Модернізація тепловозів серії М62 відповідно до вимог TSI (Технічних специфікацій для інтерооперабельності) є важливим напрямом для «Укрзалізниці» (УЗ). Таке оновлення обумовлено необхідністю заміни застарілого рухомого складу, який спочатку проектувався для експорту, а не для внутрішнього використання. Проведення модернізації дає змогу значно покращити технічні характеристики, зокрема тягові властивості, показники паливної ефективності та відповідність європейським стандартам, при цьому уникаючи повної заміни парку локомотивів.

Оскільки тепловози серії М62 поставлялися у багато європейських країн, де вони продовжують експлуатуватися до сьогодні, існує значний досвід, а також багато проєктів модернізації цих тепловозів. Окремі варіанти модернізації отримали європейський сертифікат безпеки, що підтверджує можливість дотримання вимог TSI при модернізації даної серії локомотива.

Наприклад модернізація тепловозів серії М62 у Польщі (згідно польського позначення - ST44) реалізовувалася різними підприємствами (Newag, Pesa тощо) і отримувала нові позначення серій – наприклад, ST40s (для PKP LHS, широка колія) або ST48 (для PKP Cargo, нормальна колія). При модернізації часто зберігали лише раму і

візки, натомість встановлювали нову дизель-генераторну установку західного виробництва.

У роботі проаналізовано один з варіантів модернізації даного тепловоза і визначено відповідність TSI його основних конструкційних та функціональних параметрів: гальмівної системи; системи управління та пристроїв безпеки; ергономічних параметрів кабіни машиніста; системи пожежогасіння; екологічні вимоги. Модернізаційні зміни полягають у наступному:

- силова установка та електрична частина: заміна на дизель GM 645E3B у комплекті з генератором AR10A7B; встановлення допоміжного дизель-генератора ≈ 240 кВт для живлення допоміжних систем;

- пневматика та гальмівна система: перехід на компоненти Oerlikon; новий компресор; перегляд логіки керування та індикації;

- системи безпеки, зв'язок, введення/реєстрація: інтегровані CA/SHP/RS; радіозв'язок Koliber; швидкомір T130P з цифровою індикацією/реєстрацією;

- оглядовість і видимість: галогенні фари/прожектори; електроприводи склоочисників та омивачів;

- пожежна безпека: додана стаціонарна система пожежогасіння та сигналізація; оптимізовані системи змащення/охолодження.

- ергономіка кабіни машиніста: нові пульти й сидіння; посилена звуко- та теплоізоляція; оновлене оздоблення.

Запропонований проєкт модернізації відповідає вимогам TSI та іншим європейським вимогам і може бути прийнятий як базовий для модернізації тепловозів серії M62.

АРХІТЕКТУРА КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ ТА ВУЗЛИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Корчовий В. А., аспірант

Науковий керівник: Гончарова Л.Л., к.т.н., доц.

Національний транспортний університет, м.Київ, Україна

The paper examines the architecture of computer networks and control nodes used in railway power supply systems. The study highlights challenges related to heterogeneous equipment, outdated communication protocols and insufficient network coordination, which undermine reliability and cybersecurity. It emphasizes the need for improved models and methods to ensure stable, scalable and secure operation of railway power supply control infrastructures.

Системи електропостачання залізничного транспорту дедалі більше інтегруються з цифровими платформами моніторингу та автоматизованого керування, що вимагає високонадійної та захищеної комп'ютерної мережевої інфраструктури. Проте сучасні мережі керування відзначаються неоднорідністю обладнання, використанням застарілих протоколів зв'язку та недостатньою узгодженістю між вузлами різних виробників. Це призводить до затримок передавання даних, збоїв у роботі автоматизованих систем, обмежень у масштабованості та зростання вразливостей до кібератак. Відсутність єдиних підходів до побудови архітектури мереж, а також недостатній рівень моделювання взаємодії між контролерами, вимірювальними модулями та центрами диспетчеризації ускладнюють оцінювання загальної стійкості інфраструктури.

Проблема полягає в тому, що наразі немає комплексної методології, яка б дозволяла одночасно аналізувати архітектуру комп'ютерних мереж, динаміку інформаційних потоків та поведінку вузлів автоматизованого керування у нормальних і аварійних режимах. Це створює бар'єри для своєчасного виявлення критичних відхилень і формування адекватних механізмів реагування. Таким чином, виникає потреба у розробленні науково

обґрунтованих моделей та методів оптимізації мережевої архітектури, які забезпечать надійну, масштабовану та кіберстійку роботу систем електропостачання залізничного транспорту.

Системи електропостачання залізничного транспорту функціонують як складні технічні комплекси з розгалуженою структурою керування, що забезпечує надійність тягових підстанцій, розподільчих пунктів, лінійних об'єктів та пристроїв релейного захисту. В умовах цифровізації ключове значення набуває архітектура комп'ютерних мереж, оскільки вона визначає якість, оперативність і безпеку інформаційної взаємодії між елементами енергетичної інфраструктури.

У сучасних системах використовується ієрархічна мережна архітектура, що включає декілька рівнів: локальні мережі обладнання на тягових підстанціях, регіональні центри управління та центральні диспетчерські системи. На нижньому рівні функціонують контролери, вимірювальні модулі, пристрої збору даних та мікропроцесорні блоки управління, які забезпечують моніторинг електричних параметрів, стану апаратури та виконання алгоритмів релейного захисту. Середній рівень виконує функції агрегування даних, адаптації протоколів та передачі інформації у SCADA-системи, що дозволяє централізовано контролювати режими живлення та оперативно реагувати на відхилення. На верхньому рівні реалізуються аналітичні модулі, прогнозні системи та засоби прийняття управлінських рішень.

Важливою складовою архітектури є комунікаційні протоколи. У залізничній енергетиці застосовуються IEC 60870-5-104, Modbus TCP, IEC 61850 та власні промислові протоколи виробників. Вони забезпечують обмін технологічною інформацією, однак мають різний рівень захищеності від кіберзагроз. Зокрема, використання відкритих протоколів без вбудованих механізмів аутентифікації підвищує вразливість мереж до атак на канали управління.

Узгодженість взаємодії між вузлами автоматизованого керування визначає стабільність і безперебійність роботи систем електропостачання. На практиці існують проблеми, пов'язані з неоднорідністю обладнання, застарілими сегментами мережі, недостатньою швидкістю обміну даними та відсутністю єдиних стандартів конфігурації. Це ускладнює інтеграцію елементів різних виробників, підвищує ризик виникнення збоїв і створює передумови для кіберінцидентів.

Для підвищення ефективності мережевої інфраструктури пропонуються такі напрями удосконалення: модернізація комунікаційного обладнання з переходом на високошвидкісні канали зв'язку, впровадження сегментації мереж, застосування протоколів зі вбудованими механізмами шифрування та автентифікації, створення цифрових двійників керуючих мереж для моделювання аварійних ситуацій і тестування захисних алгоритмів.

Таким чином, сучасна архітектура комп'ютерних мереж та вузлів керування є критичним елементом забезпечення надійності і кіберстійкості систем електропостачання залізниць. Її дослідження та оптимізація формують основу для переходу до більш захищених, масштабованих і інтелектуальних енергетичних комплексів.

ЦИФРОВІЗАЦІЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ: СУЧАСНІ ПІДХОДИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

¹Канафощкий Тарас, ст. групи УЗ-21сп

Науковий керівник: ²Груник Андрій, к.т.н., начальник виробничого підрозділу

¹Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

²«Пасажирське вагонне депо Львів» філії «Пасажирська компанія» АТ «Укрзалізниця»

The paper examines the current state of technical maintenance for passenger railway coaches. It identifies key challenges, including insufficient automation and digitalisation,

and the lack of predictive tools for monitoring the technical condition of rolling stock. The study outlines modern approaches to improving maintenance processes, including the implementation of automated diagnostic systems, electronic technical passports, robotic inspection units, and AI-based predictive maintenance technologies. The findings highlight that digital transformation is essential for enhancing the reliability, safety, and efficiency of passenger rail transport and for aligning Ukraine's railway sector with European standards.

Технічне обслуговування пасажирських вагонів є одним із ключових елементів забезпечення безпеки, надійності та стабільності залізничних перевезень. У сучасних умовах, коли залізнична галузь України переживає кардинальні зміни через необхідність адаптації до стандартів ЄС, впровадження нових технологій та підвищення вимог до сервісу пасажирів, питання модернізації ремонтних процесів у пасажирських депо набуває особливої актуальності. Попри те, що існуючі технологічні карти обслуговування містять детальний перелік регламентних операцій, значна частина робіт виконується за допомогою ручних або маломеханізованих методів. Це уповільнює виконання операцій, збільшує ймовірність людських помилок та створює труднощі у своєчасному виявленні дефектів.

Особливо гострою є проблема відсутності єдиної цифрової бази даних щодо технічного стану вагонів, історії їх ремонтів та відмов. У більшості випадків інформація зберігається у паперовій документації або у неповній синхронізованих локальних системах, що ускладнює аналіз технічного стану та планування ремонтів. Через відсутність автоматизованого моніторингу вузлів у русі депо отримує інформацію про пошкодження вже на етапі огляду, що уповільнює процес прийняття рішень і збільшує тривалість простою вагонів. Водночас світові тенденції у сфері залізничного транспорту спрямовані на широке застосування датчиків, цифрових платформ, штучного інтелекту та прогнозової аналітики, що дозволяє значно зменшити експлуатаційні витрати та забезпечити безперебійну роботу рухомого складу.

Можливості модернізації технічних процесів у пасажирських депо передбачають впровадження ряду цифрових рішень. Одним із найбільш перспективних напрямів є створення автоматизованих систем діагностики, які можуть розташовуватися як на станційних коліях, так і на самому вагоні. Такі системи дозволяють у режимі реального часу оцінювати стан ходових частин, підшипників, гальмівного обладнання та інших критичних вузлів. Не менш важливою є розробка електронного технічного паспорта вагонів, у якому акумулюватиметься повна інформація про проведені ремонти, заміну деталей, характерні відмови та інші технічні параметри. Застосування штучного інтелекту для аналізу накопичених даних дозволить перейти від реактивної моделі ремонту до концепції прогнозного технічного обслуговування, коли несправності можуть бути виявлені ще до того, як вони спричинять серйозні наслідки.

Окремої уваги потребує питання механізації та роботизації оглядових операцій. Використання оглядових ям нового покоління, мобільних діагностичних станцій, роботизованих платформ для перевірки стану вузлів суттєво зменшує людський фактор та покращує якість контролю. У ряді депо, особливо у невеликих віддалених дільницях, регламентні роботи ТО-2 та ТО-3 досі виконуються на відкритому повітрі, що суперечить базовим технологічним вимогам і негативно впливає на якість ремонту. Створення закритих боксів, що відповідають сучасним стандартам, є необхідною умовою забезпечення стабільності ремонтних операцій, незалежно від погодних умов та сезонних факторів.

Очікуваний ефект від цифровізації ремонтних процесів є багатограним. Передусім це скорочення часу простою вагонів та зменшення витрат на ремонт за рахунок своєчасного виявлення дефектів. Крім того, цифрові рішення дозволяють підвищити точність діагностики, підготувати ґрунт для прогнозного обслуговування та формування більш прозорої системи управління технічним станом рухомого складу. Такий підхід є одним із базових критеріїв відповідності вимогам залізничних систем ЄС, де

превентивний ремонт і автоматизований контроль вважаються стандартом безпеки. У перспективі цифрова трансформація пасажирських депо дозволить не лише оптимізувати періодичність ремонтів, а й підвищити загальну якість пасажирських перевезень, що є стратегічною цінністю для розвитку залізниці України.

Таким чином, модернізація технічного обслуговування пасажирських вагонів є не лише технологічним, а й стратегічним завданням, яке визначатиме конкурентоспроможність залізничної галузі в умовах постійних змін. Впровадження автоматизованої діагностики, цифрових паспортів, роботизованих систем та прогнозної аналітики створює передумови для підвищення ефективності роботи депо, покращення безпеки та надійності рухомого складу, а також сприяє інтеграції української транспортної системи в європейський простір. Цифрова трансформація галузі не є опцією - вона є необхідністю, що визначатиме майбутній розвиток пасажирських перевезень.

ОЦІНКА ЕНЕРГОЄМНОСТІ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ПОГЛИНАЛЬНИХ АПАРАТІВ ЗАЛІЗНИЧНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ ВІДПОВІДНО ДО СТАНДАРТІВ ЄС ТА РЕГЛАМЕНТІВ БЕЗПЕКИ

¹Лапуга Н.І., студент групи ЗТБТ-22

Науковий керівник: ^{1,2}Терещак Ю.В., к.т.н., доцент.

¹Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

² Львівський науково-дослідний інститут судових експертиз, м. Львів, Україна

The article provides a comprehensive assessment of the energy consumption and efficiency of the absorption devices of railway rolling stock in accordance with the requirements of EU standards and TSI technical specifications for interoperability, taking into account the features of the longitudinal dynamics of trains. The directions for increasing the energy consumption and stability of the absorption devices and the possibility of adapting domestic designs to European requirements in order to increase the safety and interoperability of rolling stock are substantiated.

Сучасний розвиток залізничного транспорту в Європі та розширення міжнародних транспортних коридорів висувають підвищені вимоги до безпеки руху й динамічної взаємодії рухомого складу в поїздах. Важливу роль у зниженні поздовжніх ударних і тягово-гальмівних навантажень відіграють поглинальні апарати (ПА), ефективність роботи яких безпосередньо визначає рівень безпеки та довговічності елементів зчепної системи.

У роботі виконано комплексне дослідження енергоємності та ефективності роботи поглинальних апаратів залізничного рухомого складу відповідно до вимог стандартів Європейського Союзу та регламентів безпеки. Проаналізовано положення нормативних документів EN 15551, EN 15566, EN 16019 [1-3], а також технічних специфікацій інтероперабельності TSI WAG [4] і TSI LOC&PAS [5], що регламентують конструкцію, силові характеристики, енергопоглинання та методи випробувань ПА.

Розглянуто фізичні принципи поглинання енергії при поздовжніх динамічних взаємодіях у поїздах та наведено математичні моделі визначення енергоємності на основі інтегрування силових характеристик типу $F-s$. Проаналізовано особливості роботи різних типів поглинальних апаратів: фрикційних, гідравлічних, комбінованих, еластомірних, а також аварійних енергопоглиначів (crash-elements).

Проведено порівняльну оцінку ефективності ПА для вантажних і пасажирських вагонів з урахуванням вимог до граничних сил, робочих ходів і стабільності силових характеристик. На основі експериментальних і літературних даних побудовано характерні силові криві та графіки енергопоглинання, що дозволило визначити ключові параметри, які впливають на рівень ефективності та безпечності роботи апаратів.

Окрему увагу приділено критеріям сертифікації поглинальних апаратів за стандартами ЄС та можливостям адаптації вітчизняних конструкцій до вимог TSI.

Показано, що застосування сучасних матеріалів і комбінованих схем поглинання дозволяє суттєво підвищити енергоємність і стабільність роботи ПА без збільшення габаритів і маси. Розроблено алгоритм та методику проведення випробувань ПА відповідно до нормативних документів EN.

Автори роботи зауважують, що прямо використовувати нормативні документи до поглинальних апаратів використовувати тут неможна, так як є відмінності в системах гасіння енергії в рухомому складі. Так для прикладу в українському рухомому складі це виконує переважно один елемент - поглинаючий апарат і в окремих випадках – для пасажирського рухомого складу їх є два – додатково влаштовані та передбачені буферні комплекти. А в європейському рухомому складі основний упор робиться на гасіння енергії співудару буферними пристроями а додатково – на демпфери, які стоять за гвинтовою упряжжю.

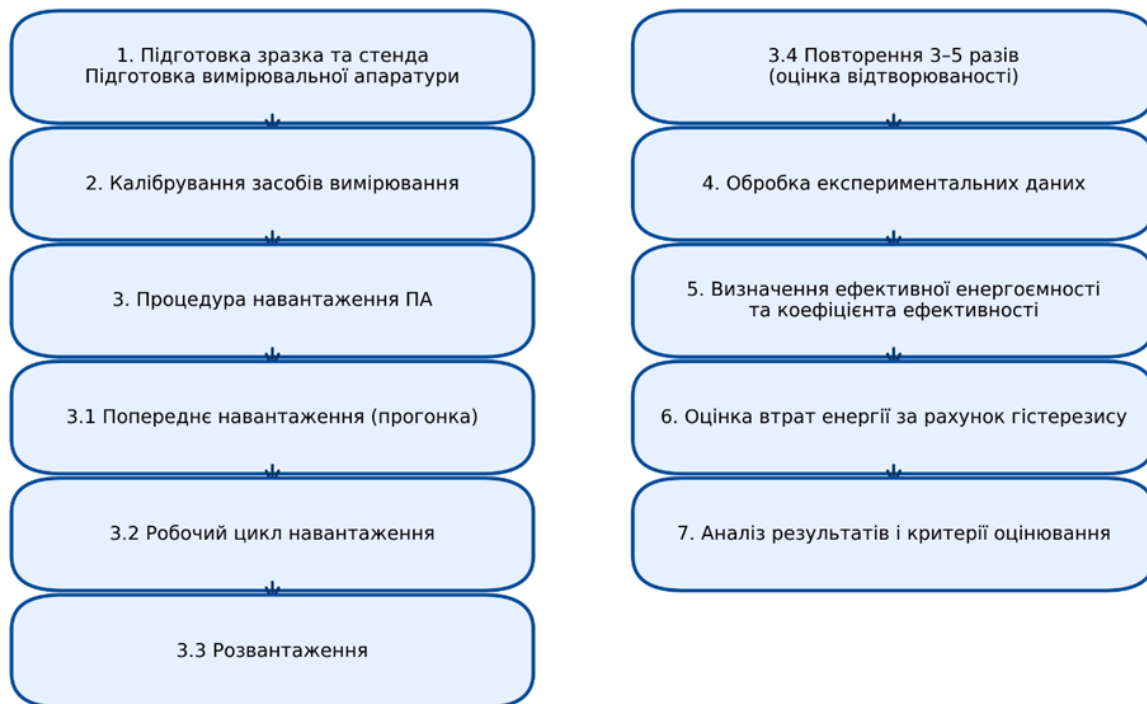


Рис.1. Методика проведення випробувань поглинальних апаратів

За результатами дослідження сформульовано рекомендації щодо підвищення енергоємності та ефективності роботи поглинальних апаратів, а також щодо гармонізації національних технічних вимог із європейськими стандартами. Отримані результати мають практичне значення для підприємств вагонобудування, депоовського ремонту та модернізації рухомого складу, а також можуть бути використані при розробленні нових систем автоматичної зчіпки.

Список використаної літератури

1. EN 15551:2019 Railway applications. Railway rolling stock. Buffers. Brussels: European Committee for Standardization, 2019. 44 p.
2. EN 15566:2020 Railway applications. Railway rolling stock. Draw gear and screw couplings. Brussels: CEN, 2020. 38 p.
3. EN 16019:2014 Railway applications. Energy absorption components. Requirements and testing. Brussels: CEN, 2014. 56 p.
4. Commission Regulation EUNo 321/2013. Commission Regulation EU No 321/2013 of 13.03.2013 concerning the technical specifications for interoperability relating to the subsystem «Rolling stock - Freight wagons» of the rail system in the European Union. - Official Journal of the EU, L104, 12.04.2013.
5. Commission Regulation EUNo 1302/2014. Commission Regulation EU No1302/2014 of 18 .11.2014 concerning the technical specifications for interoperability relating to the «Locomotives and passenger rolling stock». – Official Journal of the EU, L 356, 12.12.2014.

АНАЛІЗ ТА ПОРІВНЯННЯ ХАРАКТЕРИСТИК І ПОКАЗНИКІВ КОЛІСНИХ ПАР ВАГОНІВ КОЛІЇ 1435/1520 ММ ВИГОТОВЛЕНИХ ПО РІЗНИХ НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТАХ

¹Романський А.О., студент групи ЗТБТ-22

Науковий керівник: ^{1,2}Терещак Ю.В., к.т.н., доцент.

¹Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

²Львівський науково-дослідний інститут судових експертиз, м. Львів, Україна

The article presents a comparative analysis of regulatory requirements for wheelsets of 1435 mm and 1520 mm gauge wagons according to EN and GOST/DSTU standards with an assessment of their impact on reliability, durability and operational safety. The feasibility of introducing the EN 13260–13262 series standards into production and repair practice is substantiated in order to harmonize the regulatory framework and ensure interoperability of railway rolling stock in Ukraine.

В умовах інтеграції залізничного транспорту України до європейського транспортного простору актуальним є питання гармонізації національних нормативних документів із вимогами Європейського Союзу. Особливу роль у забезпеченні безпеки руху, надійності та довговічності рухомого складу відіграють колісні пари, які належать до відповідальних елементів вагонів.

У роботі виконано комплексний аналіз та порівняння технічних показників і характеристик колісних пар вагонів колії 1435 мм та 1520 мм, виготовлених відповідно до різних нормативних документів. Досліджено вимоги стандартів серії EN 13260–13262 [1-3], які регламентують конструкцію колісних пар, осей і коліс для залізниць європейської колії, а також нормативних документів пострадянського простору, зокрема ГОСТ 4835 [4-6] та пов'язаних технічних умов.

Проведено порівняльний аналіз вимог до геометричних параметрів, допусків, матеріалів, технології виготовлення та напресування коліс, методів неруйнівного контролю, критеріїв приймання, маркування і простежуваності. Встановлено, що стандарти EN характеризуються більш жорсткими та детально регламентованими вимогами до якості матеріалів, контролю напружено-деформованого стану, процедур неруйнівного контролю й системи кваліфікації виробників.

Особливу увагу приділено аналізу відмінностей у підходах до вибору матеріалів. Показано принципові розбіжності між класифікацією сталей за стандартами EN (класи ER, EA) та традиційними марками сталей за ГОСТ та ДСТУ, що безпосередньо впливає на показники міцності, втомної довговічності та ресурсу колісних пар. Виявлено також суттєві відмінності у вимогах до контролю процесу напресування коліс і забезпечення простежуваності продукції.

За результатами дослідження визначено основні технічні та технологічні невідповідності між вимогами європейських і національних нормативних документів та оцінено їх вплив на надійність і безпеку експлуатації колісних пар. Сформульовано рекомендації щодо доцільності впровадження стандартів EN 13260–13262 [1-3] у виробничу та ремонтну практику вітчизняних підприємств, а також щодо адаптації технологічних процесів і системи контролю якості.

Отримані результати можуть бути використані під час стандартизації, модернізації виробництва колісних пар і забезпечення інтероперабельності рухомого складу України з європейською залізничною мережею.

Отже підсумовуючи вище наведене можна зробити наступні загальні висновки: сучасні тенденції розвитку галузі виготовлення колісних пар визначаються впровадженням високих стандартів безпеки, застосуванням інноваційних матеріалів, автоматизацією виробництва та гармонізацією нормативної бази з європейськими вимогами, а Україна має значний промисловий потенціал у цій сфері, а адаптація та

запровадження стандартів ЄС створює умови для розширення співпраці, збільшення експортних можливостей та підвищення рівня безпеки залізничних перевезень.

Список використаної літератури

1. ДСТУ EN 13260:2022. Колісні пари та візки. Колісні пари. Вимоги до продукції (EN 13260:2020, IDT). – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. – 40 с.
2. ДСТУ EN 13261:2022. Колісні пари та візки. Осі колісних пар. Вимоги до продукції (EN 13261:2020, IDT). – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. – 52 с.
3. ДСТУ EN 13262:2022. Колісні пари та візки. Колеса. Вимоги до продукції (EN 13262:2020, IDT). – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. – 65 с.
4. ДСТУ ГОСТ 4728:2014 Заготовки осьові для залізничного рухомого складу. Технічні умови (ГОСТ 4728-2010, IDT) , 2014. -14с.
5. ДСТУ ГОСТ 4835:2008 Колісні пари вагонів магістральних залізниць колії 1520 мм. Технічні умови (ГОСТ 4835-2006, IDT), 2008. 14с.
6. ДСТУ ГОСТ 10791:2006 Колеса суцільнокатані. Технічні умови (ГОСТ 10791-2004, IDT), Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2006. – 36 с.

АНАЛІЗ ТА ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ ВІТЧИЗНЯНИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ РУХОМОГО СКЛАДУ ВІДПОВІДНО ДО ЄВРОПЕЙСЬКИХ ВИМОГ TSI ТА СТАНДАРТІВ EN

¹Песюк А. М., студент групи ЗТБТ-21, ²Батіг А.В., старший науковий співробітник
Науковий керівник: ¹Ільчишин В.М., к.т.н., доцент.

¹Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

² Львівський науково-дослідний інститут судових експертиз , м. Львів, Україна

The article analyzes the current state of domestic rolling stock technical condition monitoring systems and their compliance with TSI and EN standards, taking into account the transition from routine inspections to multi-sensor real-time control systems. The feasibility of implementing integrated analytical platforms, machine learning algorithms, and harmonizing the regulatory framework with EU requirements to improve traffic safety and maintenance efficiency is substantiated.

Сучасний залізничний транспорт України перебуває в умовах структурної модернізації, що зумовлена необхідністю підвищення безпеки руху, оптимізації витрат на технічне обслуговування та забезпечення інтероперабельності з європейською залізничною мережею. Одним із ключових напрямів цього процесу є вдосконалення систем моніторингу технічного стану рухомого складу з урахуванням вимог технічних специфікацій інтероперабельності (TSI) та стандартів EN.

В роботі виконано та проведено аналіз сучасного стану вітчизняних систем моніторингу технічного стану рухомого складу [1-2]. Встановлено, що переважна частина контролю базується на регламентних оглядах і періодичній дефектації, що не забезпечує своєчасного виявлення прихованих дефектів та не відповідає сучасним вимогам управління безпекою. Під час проведення роботи було виявлено певні невідповідності, що призводять до висновків - фрагментарності нормативної бази та обмеженого використання результатів онлайн-діагностики при прийнятті рішень щодо технічного обслуговування. При цьому використовувалась не тільки наукова література, але й використовувалась нормативно - технічна база , а саме: EN 15313, EN 15437, EN 14363 та інші нормативні документи, які передбачають застосування стаціонарних, бортових і портативних мультисенсорних систем, інтеграцію даних у цифрові платформи та перехід до технічного обслуговування за станом (CBM) [3-5]. В роботі проведено та виконано аналіз технічних показників і параметрів моніторингу, зокрема: геометричних, динамічних, теплових та вібраційних характеристик. При цьому особливу увагу звернено та визначено на найбільш

інформативні параметри для оцінки стану колісних пар, буксових підшипників, автозцепних пристроїв і елементів підвішування

Дані дослідження містять пропозиції щодо удосконалення систем моніторингу технічного стану рухомого склад та запропоновано наступні кроки для їх реалізації: запропоновано створення єдиної аналітичної платформи для інтеграції даних стаціонарних і бортових систем; застосування алгоритмів машинного навчання для прогнозування відмов, удосконалення телеметричних каналів та адаптацію національної нормативної бази до вимог ЄС; більш широке застосування систем які базуються на основі штучного інтелекту.

Запропоновані кроки та реалізація запропонованих заходів забезпечить підвищення рівня безпеки руху, ефективніше управління ресурсом вузлів рухомого складу та гармонізацію залізничної системи України з європейськими вимогами.

Список використаної літератури

1. FR8RAIL. Wayside Condition Monitoring Impact Analysis. Deliverable D3.6 / Roald Lengu, Giuseppina Formato, Benjamin Baasch та ін. – Shift2Rail Joint Undertaking, H2020-730617. - 31.05.2018. - 75 с.
2. Nerubatskyi V.P., Hordiienko D.A. On-board monitoring of the technical condition of rolling stock using effective information technologies / V.P. Nerubatskyi, D.A. Hordiienko // Modern engineering and innovative technologies. - 2022. - Issue 19. - Part 1. – P. 38–51.
3. EN 15313:2016. Залізничний транспорт. Вимоги до поведінки колісних пар в експлуатації. - Брюссель : CEN, 2016.
4. EN 15437:2009. Залізничний транспорт. Моніторинг ходових характеристик візків рухомого складу. - Брюссель : CEN, 2009.
5. EN 14363:2016. Залізничний транспорт. Випробування та моделювання для приймання ходових характеристик залізничних транспортних засобів. - Брюссель : CEN, 2016.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ПОШКОДЖЕНЬ КОЛІСНИХ ПАР ВАГОНІВ НА ОСНОВІ СТАНДАРТІВ ЄС ТА ТЕХНОЛОГІЙ ПРОГНОЗНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ

¹Федюк М.М., студент групи ЗТБТ-22

Науковий керівник: ^{1,2}Терещак Ю.В., к.т.н., доцент.

¹Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

² Львівський науково-дослідний інститут судових експертиз, м. Львів, Україна

The article analyzes the limitations of traditional methods of rolling stock maintenance and performs a comparative assessment of European and domestic approaches to monitoring its technical condition, taking into account the requirements of TSI, UTP and EU directives. The need to transition to integrated digital monitoring systems using telemetry, sensor technologies and artificial intelligence algorithms to increase the level of safety and ensure interoperability of Ukrainian railway transport is substantiated.

Забезпечення безпечної та надійної експлуатації рухомого складу є одним із пріоритетних завдань залізничної галузі, особливо в умовах зростаючої інтенсивності перевезень та необхідності наближення до європейських вимог. Традиційні методи планово-попереджувального обслуговування та візуального огляду рухомого складу дедалі частіше демонструють свою обмеженість, оскільки значною мірою залежать від людського чинника, рівня підготовки персоналу й умов проведення контролю. Це створює ризики пропуску дефектів ходових частин та інших конструкції рухомого складу, які можуть стати причиною настання залізнично-транспортних пригод.

У роботі проведено комплексний аналіз європейської нормативної бази, що регламентує застосування систем моніторингу технічного стану рухомого складу[1]

(Safety Directive [3], Interoperability Directive, Регламенти 1078/2012 [2], 445/2011, 402/2013, технічні специфікації TSI/UTP), та визначено ключові відмінності між підходами ЄС і чинною українською практикою. Розглянуто функціональні можливості трьох груп систем моніторингу – стаціонарних, бортових телематичних та портативних – і встановлено їхні переваги й обмеження у контексті побудови єдиної інтегрованої системи контролю.

Проведена RAMS-оцінка технічного стану рухомого складу та аналіз відмов показали, що попри прийнятний рівень надійності й готовності, наявність небезпечних несправностей, відмов навіть з малою частотою вимагає переходу до обслуговування за станом та прогнозного технічного обслуговування, що вже є стандартом для країн ЄС. У роботі також досліджено вплив людського фактору на ймовірність пропуску дефектів та проаналізовано поведінку колеса з повзуном як приклад потенційно аварійної ситуації, яка потребує автоматизованого контролю.

Отримані результати доводять необхідність впровадження комплексних цифрових рішень, включно зі створенням цифрових паспортів вагонів, застосуванням телеметрії, високоточних сенсорів, алгоритмів штучного інтелекту та уніфікованих баз даних для формування безперервного циклу діагностики. Запропоновані підходи дозволяють суттєво підвищити рівень безпеки, зменшити кількість відмов і забезпечити наближення української залізничної системи до європейських стандартів інтероперабельності.

Список використаної літератури

1. Shift2Rail. Deliverable D 3.6. Wayside Condition Monitoring Impact Analysis / Roald Lengu (ANSALDO STS). – Brussels: Shift2Rail Joint Undertaking, 2018. – 73 p.
2. Commission Regulation (EU) No 1078/2012 of 16 November 2012 establishing a common safety method for monitoring. — Official Journal of the European Union, L 320, 17.11.2012
3. Directive (EU) 2016/798 of the European Parliament and of the Council of 11 May 2016 on railway safety. — Official Journal of the European Union, L 138, 26.05.2016.

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ВПРОВАДЖЕННЯ СУЧАСНИХ СИСТЕМ ТА КОМПЛЕКСІВ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ, МОНІТОРИНГУ ТА ОЦІНКИ БЕЗПЕКИ ЗА ТЕХНІЧНИМ СТАНОМ СПЕЦІАЛЬНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ АТ "УКРЗАЛІЗНИЦЯ"

¹ Винницький Р.Б., студент групи ЗТБТ-21, ²Батіг А.В., старший науковий співробітник
Науковий керівник: ¹Ільчишин В.М., к.т.н., доцент.

¹Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

²Львівський науково-дослідний інститут судових експертиз, м. Львів, Україна

The article considers the problems of ensuring the safety of operation of special rolling stock of Ukrainian railways in the conditions of aging of the fleet and increasing operational loads and analyzes the possibilities of using automated systems for diagnostics and monitoring of technical condition. The feasibility of implementing integrated stationary and on-board control systems is substantiated, taking into account the requirements of TSI and EN standards for failure prediction, assessment of residual resource and transition to condition-based maintenance.

Сучасний стан залізничного транспорту України визначається зростанням інтенсивності руху, старінням парку спеціальних вагонів та підвищенням вимог до безпеки експлуатації. Спеціальний рухомий склад – хопер-дозатори, думпкари та інші вагони – працює у важких режимах змінних і ударних навантажень, що прискорює розвиток дефектів та зменшує залишковий ресурс конструкцій. Традиційні регламентні підходи до технічного обслуговування та ремонтів дедалі частіше не забезпечують

своєчасного виявлення прихованих дефектів, які розвиваються поступово та часто не виявляються.

У роботі проаналізовано сучасні тенденції впровадження автоматизованих систем діагностики та моніторингу технічного стану рухомого складу [1, 2], що застосовуються на провідних залізницях світу та окремі приведено рис. 1.

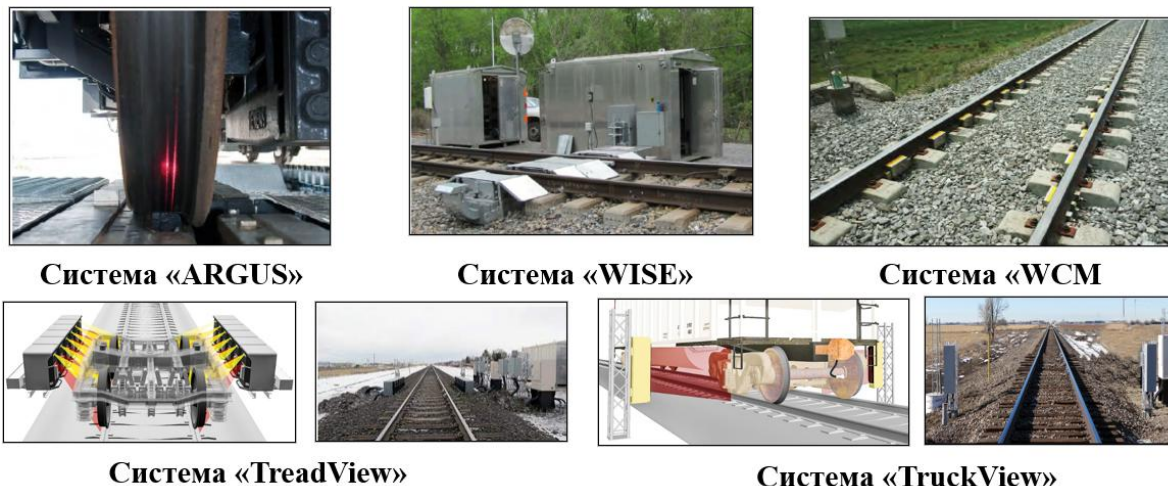


Рис. 1. Системи діагностики та моніторингу технічного стану рухомого складу ЄС і США

Розглянуто можливості стаціонарних комплексів, бортових сенсорних платформ для реєстрації прискорень, температур, вібрацій та ударних навантажень, а також портативних засобів вимірювання геометричних параметрів коліс. Показано, що раннє виявлення дефектів колісних пар, буксових підшипників і несучих конструкцій є ключовим фактором попередження виникнення залізнично-транспортних пригод.

Окрему увагу приділено аналізу нормативної бази України та вимог TSI, UTP і стандартів EN [3-5], що встановлюють критерії до систем контролю технічного стану рухомого складу. Європейська практика ґрунтується на ризик-орієнтованому підході, цифровій фіксації параметрів та інтеграції даних моніторингу в систему управління безпекою (SMS), що визначає актуальність гармонізації українських методик із вимогами ЄС.

У роботі також досліджено фактичний технічний стан спеціального рухомого складу АТ «Укрзалізниця» та встановлено, що більшість таких вагонів експлуатуються за межами призначеного ресурсу, що потребує поглибленої діагностики, оцінки напружено-деформованого стану та визначення залишкового ресурсу. Проаналізовано теплові моделі поведінки буксових підшипників, що дозволило обґрунтувати оптимальні інтервали між стаціонарними пунктами контролю та підтвердити ефективність комбінованої системи, у якій стаціонарні комплекси доповнюються бортовими сенсорами.

Запропоновані рішення спрямовані на формування інтегрованої системи моніторингу спеціального рухомого складу, що забезпечує прогнозування відмов, оцінку ресурсу та підтримку прийняття рішень у системі технічного обслуговування за станом. Реалізація таких підходів сприятиме підвищенню безпеки руху, оптимізації ремонтних процесів та гармонізації роботи української залізничної галузі з європейськими стандартами.

Список використаної літератури

1. FR8RAIL. Wayside Condition Monitoring Impact Analysis. Deliverable D3.6 / Roald Lengu, Giuseppina Formato, Benjamin Baasch та ін. – Shift2Rail Joint Undertaking, H2020-730617. - 31.05.2018. - 75 с.
2. Shaikh M.Z., Ahmed Z., Chowdhry B.S., Nava Baro E., Hussain T., Uqaili M.A., Mehran S., Kumar D., Shah A.A. State-of-the-art wayside condition monitoring systems for railway wheels: A comprehensive review / M.Z. Shaikh, Z. Ahmed, B.S. Chowdhry та ін. – IEEE Access, 2023. – Vol. XX. – 24 p.
3. EN 15437-1:2019. Railway applications. Axlebox condition monitoring. Part 1: General requirements. – European Committee for Standardization (CEN), 2019. – 20 p.

4. EN 13979-1:2003+A2:2011. Railway applications. Wheelsets and bogies. Part 1: Wheels – Tread quality and permissible defects. – European Committee for Standardization (CEN), 2011. – 68 p.

5. Regulation (EU) No 321/2013 (TSI WAG). Technical Specification for Interoperability relating to the subsystem ‘Rolling Stock – Freight Wagons’, as amended by Regulation (EU) 2019/776. – Official Journal of the European Union, 2013–2019.

ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ ВАГОНІВ ВІДПОВІДНО ДО EN 14363 З РОЗРОБКОЮ АЛГОРИТМУ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ

¹Добровольський М.Р., студент групи ЗТБТ-22, ²Батіг А.В., старший науковий співробітник
Науковий керівник: ^{1,2}Терещак Ю.В., к.т.н., доцент.

¹Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

² Львівський науково-дослідний інститут судових експертиз, м. Львів, Україна

The article explores approaches to assessing the stability of freight wagon movement and preventing derailments, taking into account the dynamic interaction in the wheel-rail system and the requirements of the EN 14363 standard. The feasibility of improving test methods and using mathematical and computer modeling to increase the level of safety and harmonize the national regulatory framework with European standards is substantiated.

Забезпечення стійкості руху та запобігання сходою рухомого складу з рейкової колії є одним із ключових завдань сучасного залізничного транспорту, оскільки динамічна взаємодія в системі «колесо–рейка» безпосередньо визначає рівень безпеки перевезень. Несправний стан ходових частин вагонів, рейкової колії можуть спричиняти формування небезпечних динамічних процесів, що збільшують ризик настання залізнично-транспортних пригод [1].

У роботі досліджено сучасні підходи до оцінювання показників стійкості руху вантажних вагонів, проаналізовано методи розрахунку їх на українських залізницях та порівняно з європейськими вимогами стандарту EN 14363, які приведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Порівняння динамічних показників залізничного рухомого складу в Україні та країнах ЄС

Залізничні колії 1520 мм	Залізничні колії 1435 мм
Коефіцієнт запасу стійкості колісної пари від сходу з рейок	Не визначається
Коефіцієнт запасу стійкості від опрокидування	Не визначається
Рамні сили в долях осьового навантаження	Не визначається
Не визначається	Відношення бокової та вертикальної сил взаємодії коліс з рейками Y/Q (критерій Надаля)
Не визначається	Значення суми направляючих сил ΣY (або бічних буксових сил H)
Не визначається	Показник стійкості рейко-шпальної решітки від зсуву (критерій Прюдома)
Не визначається	Показник опору поворотам візка відносно рами кузова (X)
Коефіцієнт вертикальної динаміки (за ступенями підвішування)	Не визначається
Визначаються	Прискорення кузова у горизонтальному та вертикальному напрямках
Визначаються	Прискорення ходових частин

Показано, що наявні методики на українських залізницях не повною мірою враховують вплив геометрії колії, зносу колісних пар та характеру реальної силової взаємодії. Розглянуто особливості проведення випробувань за EN 14363 [2], визначено перелік критеріїв безпеки та вимоги до вимірювань, а також проаналізовано різні методики оцінювання – нормальну, спрощену, стендову та комбіновану. Проаналізовано алгоритмізацію процесу випробувань вагонів відповідно до EN 14363 та сформовано узагальнений алгоритм проведення таких випробувань приведений з врахування кривих різного радіусу на рис. 1.

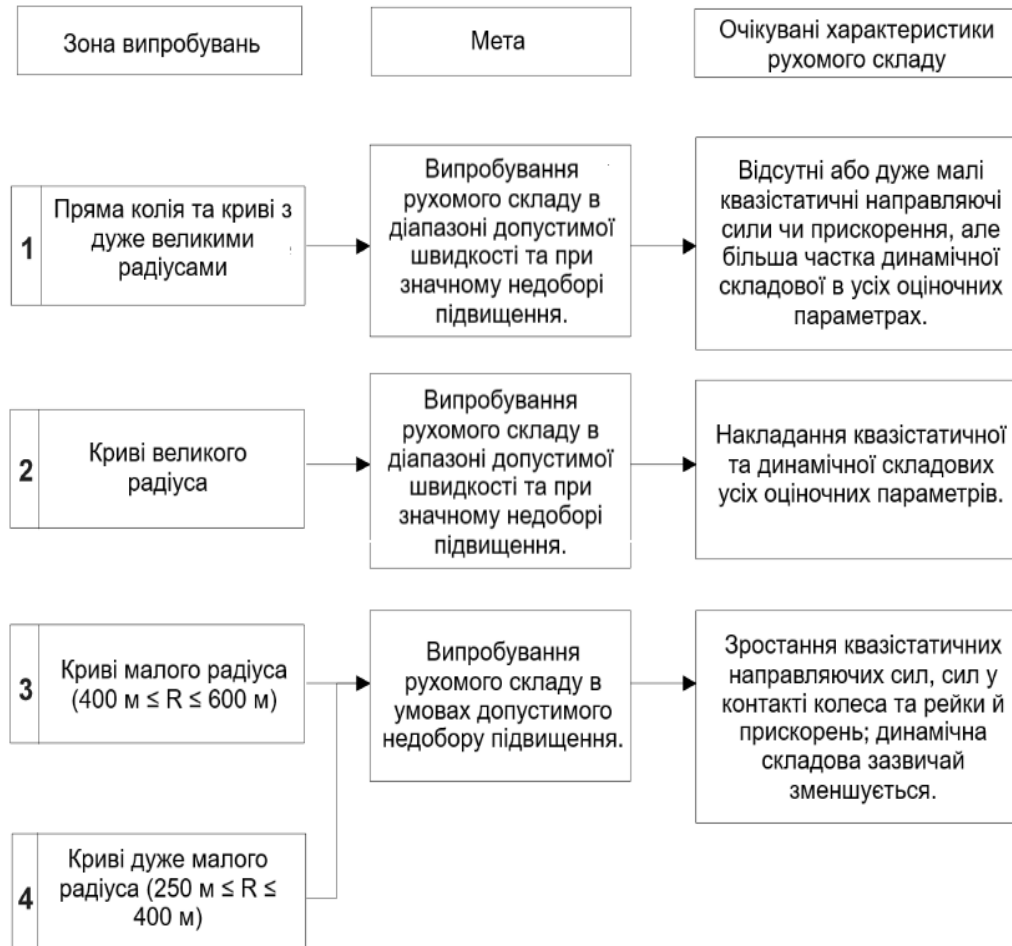


Рис. 1. Алгоритм проведення випробувань в залежності від тестових зон та радіусів кривих

Додаткову увагу приділено можливостям застосування математичного та комп'ютерного моделювання для попередньої оцінки динамічної поведінки рухомого складу, що дозволяє зменшити обсяг натурних випробувань та підвищити точність прогнозування небезпечних режимів. Запропоновані в роботі рішення спрямовані на підвищення рівня безпеки, удосконалення процедур випробувань та гармонізацію української нормативної бази [3] з європейськими стандартами.

Список використаної літератури

1. Domin R. Mechanical Safety of Railway Vehicles / R. Domin. – Düsseldorf : LAMBERT Academic Publishing, 2017. – 140 p.
2. BS EN 14363:2005. Railway applications – Testing for the acceptance of running characteristics of railway vehicles – Testing of running behaviour and stationary tests – European Committee for Standardization. – Consumation 03.03.2005. – Brussels: European Committee for Standardization, 2005. – 129 p.
3. ДСТУ EN 14363:2022. Залізниця. Випробування та моделювання для приймання ходових якостей залізничного рухомого складу. Ходові властивості та стаціонарні випробування (EN 14363:2016 + A2:2022, IDT). – ДП «УкрНДНЦ», 2022

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ГВИНТОВОЇ СТЯЖКИ ЄВРОПЕЙСЬКОГО ЗРАЗКА НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ

Тибінка М.М., студент групи ЗТБТ-22
Науковий керівник: Ільчишин В.М., к.т.н., доцент.

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

The paper investigates the feasibility of applying a European-type screw coupling on Ukrainian railways based on an analysis of EN and TSI regulatory requirements and a calculation-analytical assessment of the coupling screw strength. It is shown that the screw coupling meets the operating conditions of international passenger services, while for freight operation on the 1520 mm-gauge network it requires load limitations or structural adaptation.

В умовах інтеграції залізничного транспорту України до європейського транспортного простору особливої актуальності набуває питання забезпечення інтероперабельності рухомого складу. Одним із ключових елементів, що впливає на безпеку руху, поздовжню динаміку поїздів і сумісність вагонів різних залізничних систем, є зчіпні пристрої.

У даній роботі виконано комплексне дослідження можливості застосування гвинтової упряжі європейського зразка (UIC screw coupling) в умовах експлуатації на залізницях України. В роботі проаналізовано наукові дослідження та нормативні документи Європейського Союзу й України, що регламентують конструкцію, міцність, енергопоглинання та експлуатацію зчіпних пристроїв рухомого складу.

Проведено порівняльний аналіз вимог стандартів EN 15566 [1], EN 15551, EN 16019, технічних специфікацій взаємодії TSI LOC&PAS [2] і TSI WAG [3], а також чинних вітчизняних інструкцій з експлуатації та ремонту гвинтових упряжей. Встановлено, що європейські стандарти характеризуються значно вищим рівнем деталізації вимог до силових характеристик, втомної міцності, випробувань і простежуваності, тоді як національні документи переважно орієнтовані на геометричний контроль і експлуатаційну дефектацію.

У роботі виконано розрахунково-аналітичну перевірку стяжного гвинта гвинтової упряжі відповідно до навантажень, регламентованих стандартом EN 15566 на 1,0 МН, 1,2 МН та 1,5 МН та вимогами до зчіпних пристроїв України на навантаження 3,0 МН та 3,5 МН [4]. Визначено напружено-деформований стан гвинта, мінімально допустимий діаметр по впадинах різьби та запас міцності для різних категорій навантаження див . табл. 1.

Таблиця 1 - Розрахункові значення сили на гвинт та мінімальні значення діаметру гвинта

Категорія	ΔF_2 , кН	d_{min} (приклад), мм	Нормативний документ
1 МН	575	≈ 43	EN 15566
1,2 МН	690	≈ 47	EN 15566
1,5 МН	910	≈ 54	EN 15566
3,0 МН	1720	≈ 92	ДСТУ 7598:2014
3,5 МН	2010	≈ 105	ДСТУ 7598:2014

Показано, що для навантажень, характерних для пасажирських поїздів європейського типу, гвинтова упряж забезпечує нормативну міцність, однак при рівнях поздовжніх сил, притаманних вантажному руху на мережі 1520 мм, її застосування потребує обмеження навантажень або конструкційної адаптації.

На основі отриманих результатів сформовано технічні та організаційні рекомендації щодо поетапного впровадження гвинтових упряжей на залізницях України. Запропоновано заходи з гармонізації нормативної бази, адаптації ремонтної інфраструктури, розроблення методик випробувань відповідно до додатків EN 15566 [1], а

також використання гвинтових упряжей насамперед на пасажирських поїздах міжнародного сполучення.

Отримані результати можуть бути використані при модернізації пасажирського рухомого складу, розробленні національних стандартів і забезпеченні технічної сумісності залізниць України з європейською мережею.

Список використаної літератури

1. EN 15566:2022 Railway applications - Railway rolling stock - Draw gear and screw coupling. - CEN, 2022. - 72 p.
2. Commission Regulation EUNo 1302/2014. Commission Regulation EU No1302/2014 of 18.11.2014 concerning the technical specifications for interoperability relating to the «Locomotives and passenger rolling stock». – Official Journal of the EU, L 356, 12.12.2014.
3. Commission Regulation EUNo 321/2013. Commission Regulation EU No 321/2013 of 13.03.2013 concerning the technical specifications for interoperability relating to the subsystem «Rolling stock - Freight wagons» of the rail system in the European Union. - Official Journal of the EU, L104, 12.04.2013.
4. ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Автозчепний пристрій. Загальні технічні вимоги. - Чинний від 2015-01-01. - Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2015. - 161 с.

ВИКОРИСТАННЯ 3D ДРУКУ ТЕРМОСТІЙКИМ ПЛАСТИКОМ В РЕМОНТІ ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ В УМОВАХ ЛОКОМОТИВНИХ ДЕПО

Куриляк Роман Володимирович, студент групи 4Т-88

Наукові керівники: Груник Іван Степанович, к.т.н., директор; Шидловський Роман Михайлович, викладач

Львівський фаховий коледж транспортної інфраструктури Національного університету «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

The article examines the application of 3D printing using heat-resistant polymer materials for the repair of electrical apparatus in traction rolling stock under locomotive depot conditions. The specific features of additive manufacturing, equipment requirements, and the properties of the most commonly used heat-resistant materials such as ABS, PETG, Nylon, PC, and PEEK are analyzed. Practical examples of using 3D printing to produce housings, mounts, insulating components, and other functional elements are presented, enabling rapid replacement of worn or discontinued parts. The advantages of the technology are highlighted, including reduced repair time, resource savings, and the capability for small-batch production. The study concludes that the implementation of 3D printing in depot repair processes is a promising and effective tool for optimizing the maintenance of traction rolling stock.

Сучасні технології адитивного виробництва швидко розвиваються та займають важливе місце в промисловості, транспорті, машинобудуванні й ремонті обладнання. Однією з найбільш перспективних галузей застосування є 3D друк термостійкими полімерними матеріалами, що дозволяє оперативно виготовляти функціональні компоненти, які здатні витримувати нагрів, механічні навантаження та агресивні умови експлуатації.

В умовах локомотивних депо ця технологія набуває особливого значення. Багато компонентів електричних апаратів тягового рухомого складу знімаються з виробництва, мають довгі строки доставки або потребують індивідуального відновлення. 3D друк дає можливість виготовляти необхідні деталі на місці протягом годин або днів, скорочуючи простой рухомого складу та підвищуючи ефективність ремонтних робіт.

Особливості 3D друку термостійкими пластиками. 3D друк термостійкими матеріалами має специфічні вимоги та особливості: необхідність високих температур

екструзії; застосування підігрітої платформи та закритої камери для запобігання деформації; використання сушіння та дегідратації матеріалу перед друком; дотримання точних технологічних параметрів для забезпечення міцності кінцевої деталі.

Термостійкі полімери зберігають механічні властивості при нагріві, характеризуються стабільністю геометрії та мають підвищену хімічну стійкість, що робить їх придатними для використання у вузлах тягового електрообладнання.

Основна технологія друку — FDM (Fused Deposition Modeling), при якій розплавлена нитка пластику наноситься пошарово. Після друку деталі можуть проходити шліфування, полірування, механічну обробку або термообробку.

Матеріали для термостійкого 3D друку. У ремонті електричних апаратів найкраще застосовувати такі матеріали:

- ABS (акрилонітрилбутадієнстирол) – робоча температура: до 90–100 °C; міцний, ударостійкий, підходить для корпусних деталей;
- PETG (модифікований поліетилентерефталат) – температура експлуатації: до 70–75 °C; стійкий до хімікатів, гнучкіший за ABS; добре підходить для кришок, кожухів і дрібних кріплень;
- нейлон (PA12, PA6) – відмінна зносостійкість і гнучкість; стійкість до вібрацій і стирання; потребує сушіння перед друком;
- армовані поліаміди (PA-CF, PA-GF) - висока жорсткість і термостійкість; застосовуються для шестерень, втулок, механічно навантажених деталей;
- PC (полікарбонат) / PC-CF - температура екструзії 280–320 °C; дуже висока ударна міцність; підходить для електротехнічних корпусів та деталей, що працюють на нагрів;
- РЕЕК (поліефіретеркетон) – робоча температура до +250 °C; надзвичайно висока механічна й хімічна стійкість.

Вимоги до обладнання. Для якісного друку термостійких деталей у депо необхідно використовувати наступне обладнання:

- 3D принтер із соплом $\geq 260\text{--}320$ °C (для PC, Nylon) та/або ≥ 400 °C (для РЕЕК);
- закрыта та нагрівна камера 45–120 °C;
- підігрів платформи 80–120 °C;
- сушарка або дегідратор для полімерів;
- загартовані сталеві або карбідні сопла для армованих матеріалів.

Застосування технології в локомотивних депо. 3D друк термостійкими полімерними матеріалами дає змогу виготовляти широкий спектр деталей електричних апаратів, зокрема:

- кришки, корпуси, кронштейни та ізоляційні деталі для реле, контакторів, перемикачів;
- втулки, шестерні, прокладки та інші механічні елементи, що не піддаються критичному навантаженню;
- клемні колодки, тримачі кабелів, розподільчі панелі;
- захисні кожухи, панелі, фіксатори проводів;
- ручки, кнопки, накладки та органи керування, що втратили працездатність;
- кронштейни для датчиків тощо.

Такі вироби дозволяють оперативно усунути несправності, уникнути затримок у ремонті та вирішити проблему дефіциту заводських запчастин.

Переваги використання 3D друку в депо:

- скорочення строків ремонту тягового рухомого складу;
- виготовлення деталей за потребою без великих складських запасів;
- можливість відновлення та модернізації обладнання, яке вже не випускається;
- гнучкість виробництва — можливість створювати одиничні або малосерійні партії;
- економічна ефективність — вартість друківаних деталей значно нижча порівняно з заводськими аналогами при малих обсягах.

Висновки. Використання 3D друку термостійкими пластиками в умовах локомотивних депо є перспективним напрямком модернізації ремонтних процесів локомотивів. Технологія дозволяє оперативно виготовляти необхідні компоненти електричних апаратів тягового

рухомого складу, зменшувати простої техніки, оптимізувати матеріальні витрати та підвищувати ефективність обслуговування.

За умови правильного підбору матеріалів, обладнання та дотримання технологічних вимог 3D друк стає надійним інструментом для забезпечення безперебійної роботи локомотивів і розвитку ремонтних потужностей депо.

ФУНКЦІОНАЛЬНІСТЬ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ – ТЕХНОЛОГІЧНА КОНВЕРГЕНЦІЯ

Ванзар В. М., викладач-методист, спеціаліст вищої категорії, Лягу Г. В., викладач-методист, спеціаліст вищої категорії.

Чернівецький транспортний фаховий коледж, м. Чернівці, Україна

Technological convergence in the functionality of railway transport is manifested in the fusion of various technologies (digital, communication, automation) to create complex, intelligent systems that enhance the efficiency, safety, and reliability of transportation.

Функціональність залізничного транспорту включає перевезення великих обсягів вантажів (наприклад, вугілля, зерна, сталі) та пасажирів на значні відстані, забезпечення зв'язку між регіонами та континентами, а також надійне переміщення вантажів та людей. Крім того, він має високий рівень безпеки, може перевозити велику кількість вантажів одночасно та розвантажувати автомобільні шляхи.

Технологічна конвергенція у функціональності залізничного транспорту проявляється в злитті різних технологій (цифрових, комунікаційних, автоматизації) для створення комплексних, інтелектуальних систем, що підвищують ефективність, безпеку та надійність перевезень.

Сучасна функціональність залізниці — це вже не лише рух по рейках, а цифрова екосистема на колесах. Вона інтегрує Internet of Things, IoT – Інтернет речей (Інтернет речей – мережа фізичних пристроїв, оснащених датчиками, програмним забезпеченням та іншими технологіями, які дозволяють їм підключатися до мережі та обмінюватися даними між собою. Це дає можливість збирати інформацію в реальному часі та автоматизувати процеси без участі людини. Приклади включають "розумні" побутові прилади, системи для моніторингу залізничного транспорту або логістики, штучний інтелект для прогностичного обслуговування, автоматизовані системи управління рухом та електронні ланцюги постачання, стаючи полігоном для впровадження високих технологій).

Основними завданнями Укрзалізниці є: організація злагодженої роботи залізниць і структурних підрозділів залізничної галузі з метою задоволення потреб суспільства.

Сьогодні соціально-економічний прогрес країн світу залежить все більше від ступеня розвитку технологій, в тому числі технологічної конвергенції.

Отже, технологічна конвергенція — це процес злиття та об'єднання різних, раніше не пов'язаних технологій у нові, комплексніші. Найяскравіший приклад — сучасний смартфон, який об'єднує функції телефона, комп'ютера та фотокамери.

Прикладом технологічної конвергенції може бути поняття електроніка, як злиття різних комп'ютерних технологій, таких як мережі, послуги та корпоративні структури.

Ключовим аспектом є широке впровадження пристроїв Інтернету речей (IoT) в залізничній галузі створює нові виклики кібербезпеки. Пристрої, які збирають та передають дані про рух поїздів, інфраструктуру та пасажирів, можуть бути вразливими до кібератак, що може призвести до порушення роботи, створення загроз безпеці або компрометації конфіденційних даних.

Широкий спектр потенційних загроз, таких як несанкціонований доступ, зловмисне використання даних та атаки типу "відмова в обслуговуванні" (DoS). Дані загрози можуть мати серйозні наслідки, такі як аварії поїздів, крадіжка даних або порушення логістичних ланцюгів. Ідея присвячена дослідженню аспектів кібербезпеки систем IoT на залізничному

транспорті та визначенню необхідних заходів для забезпечення безпеки та надійності цих систем. Розглянуто потенційні загрози для IoT на залізниці, включаючи вразливості мережевих пристроїв та недостатній захист мережевого трафіку. Запропоновано прості та ефективні заходи забезпечення кібербезпеки, такі як автентифікація та авторизація пристроїв IoT, захист мережевого з'єднання та моніторинг потенційних загроз. Моделювання загроз за допомогою Microsoft Threat Modeling Tool дозволило ідентифікувати основні безпекові проблеми та запропонувати шляхи їх вирішення. Отримані висновки підкреслюють важливість вкладення додаткових ресурсів у забезпечення кібербезпеки систем IoT на залізничному транспорті та рекомендують активну співпрацю з експертами з цієї галузі для успішної реалізації цифрової трансформації у залізничній індустрії.

ФУНКЦІОНАЛЬНІСТЬ І СТАН ЗАЛІЗНИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ В ЧЕРНІВЕЦЬКОМУ РЕГІОНІ

Маковічук В. В., здобувач освіти групи 34 ВГс

Науковий керівник: Іванова-Савка Світлана Володимирівна, викладачка спеціаліст вищої категорії

Чернівецький транспортний фаховий коледж, м. Чернівці, Україна

The Chernivtsi region's railway network, spanning nearly 300 km, is being modernized through reconstruction and electrification to integrate with the European standard-gauge line (1435 mm). This will improve freight and passenger transport efficiency, reduce emissions, and establish Chernivtsi as a strategic hub connecting Ukraine with the EU.

Колійне господарство. Основні характеристики: Експлуатаційна довжина головних колій – 290,2 км; Розгорнута довжина – 297,4 км; 285,6 км – колія 1520 мм; 4,2 км – колія 1435 мм; 7,6 км – суміжна колія;



Рис. 1 Схема Чернівецької дистанції колії

Прикордонні переходи: Мамалига, Ларга, Сокиряни, Вадул-Сірет.

Межування: 5 разів з Молдовою, 1 раз з Румунією.

Ділянка Чернівці – Вадул-Сірет – держкордон: одноколійна, неелектрифікована (1520 мм); від Глибока-Буковинська до кордону – суміжна колія 1435/1520 мм.

Необхідність облаштування окремої колії 1435 мм. Інвестиційний проєкт (CEF 2023, WP6–WP7). Реконструкція та електрифікація ділянки Чернівці – Вадул-Сірет – держкордон.

Мета: збільшення пропускної спроможності, усунення «вузьких місць».

Результати:

- безпересадкове пасажирське сполучення до ЄС;
- розвиток транзиту контейнерних та інших вантажів.

Очікувані результати:

- збільшення інтенсивності руху на колії 1435 мм;

- оптимізація вантажних перевезень без перестановки візків;
- скорочення часу доставки завдяки безрозвантажувальному режиму;
- зменшення шкідливих викидів;
- збільшення маси поїздів завдяки електровозній тязі;

Чернівці як ключовий транспортний хаб (зв'язок Польща–Румунія–Молдова–Україна).

Пасажи́рські перевезення:

- перспективний проєкт: курсування поїздів 1435 мм Чернівці – Вадул-Сірет – Сучава;
- хабове сполучення з Румунією (аналогія з Рава-Руською);
- перший етап: 2 пари поїздів Сучава – Чернівці (CFR Călători, ~200 місць).

Вагонне господарство:

- безбар'єрне купе, ширший вхід;
- спальні дивани зі зміною кута нахилу;
- місце для інвалідного візка, ремені, пульт керування;
- таблички Брайля, контрастне маркування;
- поручні та складні пандуси (нахил $\leq 16\%$).



Рис.2 Вагони нового типу з інклюзивними умовами

Локомотивне господарство



Рис.3 Діаграма по ТЧ-5

Загальні перспективи розвитку:

- геостратегічне розташування чернівецької області;
- модернізація інфраструктури, створення мультимодальних терміналів.

До 2030 року:

- електрифікація ділянок Чернівці–Вадул-Сірет та Чернівці–Заліщики;
- реконструкція вокзалів і станцій (Чернівці, Сторожинець, Новоселиця);
- цифровізація управління рухом, системи моніторингу та автоматизації.

Цілі: зменшення витрат, підвищення швидкості перевезень, збільшення безпеки.

Логістичний потенціал:

- Чернівецька область як логістичний хаб для вантажів з центральної України до ЄС;
- інтеграція з європейськими залізницями (1435 мм);
- створення логістичних парків біля прикордонних станцій;
- у 2022 році 41,2% експорту зернових здійснювалося залізницею.

Військова та гуманітарна роль: з початком війни залізниця – ключовий канал евакуації, доставки допомоги, переміщення військових вантажів.

Чернівецька область як тиловий регіон:

- план створення резервних маршрутів у випадку пошкодження основних магістралей;
- інвестиційні перспективи

Стратегія розвитку області до 2027 року:

- залучення міжнародних інвесторів;
- участь у програмах ЄС (Interreg, TEN-T);
- державно-приватне партнерство для будівництва терміналів та логістичних центрів.

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЗМАЩЕННЯ ТОЧКИ КОНТАКТУ ГРЕБЕНІВ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІС І БОКОВОЇ ГРАНІ РЕЙКИ НА ПОКРАЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ЯКОСТЕЙ РУХОМОГО СКЛАДУ І КОЛІЇ

¹Мацібора Ю.І., студент гр. ЗТБТ-22, ²Стурза С.О., студент гр. ПМ 2412

Наукові керівники: ¹Баб'як М.О., к.т.н., доцент ²Недужа Л.О., к.т.н., доцент.

¹Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

²Український державний університет науки і технологій м.Дніпро, Україна

The interaction between the railway wheel flange and the rail gauge face during the application of lubricating material is analysed. The positive effects of lubrication on service life extension, wear reduction, traffic safety, and noise reduction are demonstrated. An operating algorithm for the electric locomotive lubrication system has been developed.

Взаємодія колеса та рейки супроводжується значними силами тертя і контактними навантаженнями, особливо у криволінійних ділянках колії. Без належного змащення контакт гребеня колеса та бічної грані рейки характеризується високим коефіцієнтом тертя (до ~0,5–0,6 у сухому стані) і великим відносним проковзуванням, що призводить до інтенсивного адгезійного зносу металу.

Сухе тертя “колесо–рейка” не лише спричиняє швидке стирання гребенів і бокових поверхонь рейок, але й супроводжується гучним скрипінням коліс у кривих та підвищеним ризиком піднімання колеса на рейку, що може викликати схід з рейок. Таким чином, проблема зниження інтенсивності зносу коліс і рейок, зокрема зносу гребенів коліс на кривих, є актуальною як за кордоном, так і в Україні.

Одним із найбільш ефективних заходів мінімізації зносу і шуму у контакті “колесо–рейка” є мащення (змащування) колісних гребенів спеціальними мастильними матеріалами. Правильно організована система змащування здатна суттєво зменшити тертя між колесом і рейкою, подовжити строк служби елементів колії та рухомого складу і підвищити безпеку руху.

Аналіз наукових джерел показав, що застосування як бортових, так і стаціонарних систем змащування дозволяє суттєво зменшити знос рейок і коліс, продовжити їхній життєвий цикл, а отже – знизити витрати на ремонт і обслуговування інфраструктури та рухомого складу. Правильно налагоджене змащення сприяє покращенню безпеки руху за рахунок зменшення сил взаємодії та ризику сходу коліс у кривих.

Додатковими перевагами є енергозбереження (менший опір руху на кривих приводить до економії палива/енергії на кілька відсотків) і зниження шуму від залізничного транспорту.

Сучасні тенденції у цій галузі включають впровадження автоматизованих інтелектуальних систем мащення, що дозують мастило залежно від профілю колії та умов руху, а також розробку нових мастильних матеріалів із покращеними властивостями (наноприсадки, біорозкладні основи тощо). Дослідження тривають, зокрема, щодо впливу мащення на розвиток контактної втоми рейок, оптимізації складу мастил для різних кліматичних умов, стандартизації методів випробувань.

Вітчизняні напращовання (УДУНТ, УкрДУЗТ та інші заклади) роблять вагомий внесок у цю сферу, пропонуючи оригінальні рішення щодо автоматизації процесу та підвищення ефективності змащування.

З метою автоматизації процесу змащення розроблено структурну схему та алгоритм роботи системи змащення, що забезпечує автоматичну подачу мастильного матеріалу у точку контакту гребеня першого по ходу руху локомотива колеса, яке взаємодіє з зовнішньою рейкою.

Підсумовуючи, змащування колісних гребенів зарекомендувало себе як необхідний елемент системи управління тертям "колесо-рейка". Воно забезпечує оптимальний баланс між низьким зносом і достатнім зчепленням, що в кінцевому підсумку підвищує надійність, безпеку та економічність залізничного транспорту.

УДОСКОНАЛЕННЯ ДІАГНОСТУВАННЯ СИЛОВОГО КОЛА ЕЛЕКТРОВОЗА ЗМІННОГО СТРУМУ ВЛ80

¹Томинець В.В., студент гр. ЗТБТ-22

Наукові керівники: ¹Баб'як М.О., к.т.н., доцент; ²Воскобойник П.А., генеральний директор

¹Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

²ПрАТ Львівський локомотиворемонтний завод, м. Львів, Україна

The paper considers a topical issue related to the diagnosis of the power circuit of an AC electric locomotive VL80. A design of a diagnostic unit is proposed, which is developed based on the well-known and reliable PUM-Skoda unit, which is operated on electric locomotives of the State Railways. Graph models of control of pantographs and main switches are formed based on processed data from the locomotive depot. A design of a diagnostic device for electrical circuits on a modern element base for its location in the driver's cab is developed.

У роботі розглянуте актуальне питання, що пов'язане з діагностуванням силового кола електровоза змінного струму ВЛ80.

Надійність електровоза змінного струму ВЛ80 залежить від чіткої роботи всього електричного обладнання - і силового і схем керування.

Через відсутність бортових засобів діагностування несправностей електричних кіл електровоза ВЛ80 машиніст повинен приймати рішення про застосування аварійної схеми тільки покладаючись на власний досвід.

Вік електровозів іноді удвічі перевищує вік машиніста, який повинен вийти з нестандартної ситуації без сучасних засобів діагностування.

У роботі проаналізовані відомі стаціонарні та мобільні засоби та діагностування та запропоновано проєкт блоку діагностування, що розроблений за відомим і надійним блоком ПУМ-Шкода, який експлуатується на електровозах ЧС.

Авторами сформовано граф-моделі електричних кіл керування струмоприймачами і головними вимикачами на основі опрацьованих даних з локомотивного депо.

Розробленого проєкт діагностуючого пристрою на сучасній елементній базі для його розташування в кабіні машиніста електровоза ВЛ80.

Запропонований алгоритм виявлення несправностей електричної частини електровоза удосконалює діагностування силового кола електровоза змінного струму ВЛ80.

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ВИЯВЛЕННЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ МЕХАНІЧНОЇ ЧАСТИНИ ЕЛЕКТРОВОЗА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

¹Коцюмбас Н.О., студент гр. ЗТБТ-21, ²Біленко А.Ю., студент гр. ПМ 2412
Наукові керівники: ¹Баб'як М.О., к.т.н., доцент ²Недужа Л.О., к.т.н., доцент.

¹Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна
²Український державний університет науки і технологій м.Дніпро, Україна

The paper considers the problems of operating the mechanical part of DC electric locomotives. In order to improve the training of locomotive crews and improve the quality of monitoring the condition of the mechanical part of the electric locomotive, an algorithm for detecting malfunctions in the mechanical part is proposed, which provides for a mandatory visual inspection of the elements of the automatic coupling mechanism, track cleaner and brake lever transmission.

Аналіз технічного стану тягового рухомого складу підприємств локомотивного господарства АТ "Укрзалізниця" показав, що через несправність основних вузлів механічної частини електровозів постійного струму відбуваються транспортні події, які потребують термінового зменшення, у тому числі й шляхом підтримання механічної частини в належному стані, відповідно до Положення про класифікацію транспортних подій на залізницях України», що базується на стандартах безпеки Європейського Союзу.

Авторами роботи проведено дослідження конструкцій елементів механічної частини електровозів постійного струму на прикладі електровоза ВЛ10, який експлуатується на Львівській залізниці АТ "Укрзалізниця", зокрема проведено аналіз найбільш вразливих елементів механічного обладнання, яке повинно ретельно оглядатися локомотивною бригадою під час приймання локомотива відповідно до вимог нормативної документації акціонерного товариства "Укрзалізниця".

За даними АТ "Укрзалізниця", технічний стан електровозів постійного струму серії ВЛ-10 відповідає віку його виготовлення, тобто це кінець 1960-х, середина 1970 років минулого століття. Тобто, усі електровози постійного струму ВЛ-10 мали б пройти останній капітальний ремонт, або бути повністю списаними.

Однак, через відсутність в інвентарному парку локомотивних депо, у тому числі і на Львівській залізниці електровозів, здатних працювати на кордоні з Європейським Союзом у вантажному русі, є гостра необхідність експлуатації старих електровозів.

Вимоги до механічної частини електровозів постійного струму, що експлуатуються на залізницях України записані у:

- Правилах технічної експлуатації залізниць України;
- Положенні про планово-попереджувальну систему ремонту і технічного обслуговування рухомого складу АТ «Укрзалізниця»;
- Правилах технічного обслуговування та поточного ремонту;
- Інструкції з формування, ремонту та утримання колісних пар тягового рухомого складу залізниць України колії 1520 мм ВНД 32.0.07.001-2001;
- Рекомендаціях Організації співробітництва залізниць щодо технічних вимог до конструкції електровозів;
- Керівництвах з експлуатації електровозів;
- інших документах.

Згідно цих документів рухомий склад має утримуватися у справному стані, що забезпечує безперебійну роботу та безпеку руху.

Облік та класифікація транспортних подій (зіткнень, сходжень, інцидентів) в АТ "Укрзалізниця" є обов'язковими і встановлені на державному рівні Положенням про класифікацію транспортних подій (Наказ Міністерства інфраструктури № 235 від 2017 року), яке ґрунтується на стандартах безпеки Європейського Союзу (Директива

2004/49/ЄС про безпеку залізниць у Співтоваристві). Класифікація охоплює не лише пошкодження майна (катастрофи / аварії / інциденти), але й усі випадки, які стосуються людських жертв, пожеж та загроз навколишньому середовищу.

Аналізуючи вимоги Інструкції локомотивній бригаді № ЦТ-0106, машиніст зобов'язаний особливу увагу приділяти перевірці стану деталей екіпажної частини та буксового вузла при зупинках на проміжних станціях.

З метою покращення навчання локомотивних бригад та підвищення якості контролю стану механічної частини електровоза нами пропонується до місцевих інструкцій додати розроблені в даній роботі алгоритми виявлення несправностей механічної частини електровоза постійного струму, зокрема впровадити обов'язкову візуальну перевірку елементів автозчепного мезанізму, колісочисника та гальмівної важільної передачі, що не зобов'язують зараз місцеві інструкції.

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ВИЯВЛЕННЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ СХЕМІ ДОПОМІЖНИХ МАШИН ЕЛЕКТРОВАЗА ВЛ10

¹Сільваші А.І., студент гр. ЗТБТ-22, ²Чимров М.Є., студент гр. ПМ 2412
Наукові керівники: ¹Баб'як М.О., к.т.н., доцент ²Недужа Л.О., к.т.н., доцент.

¹Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна
²Український державний університет науки і технологій м.Дніпро, Україна

This paper examines the structure and principle of operation of auxiliary machines of the VL10 electric locomotive. The two most loaded auxiliary machines of the electric locomotive are identified: the fan motor and the compressor motor. To improve the diagnosis of the electrical circuit, the authors proposed an algorithm for detecting faults in the electrical part of the VL10 DC electric locomotive, which should facilitate the procedure for preventing a possible malfunction, as well as resolving an unusual situation in train operation.

Робота присвячена дослідженню актуального питання, що пов'язане з виявленням та усуненням несправностей в електричній схемі допоміжних машин електровоза ВЛ10.

Вибір тематики пов'язаний зі старінням тягового рухомого складу залізниць, що у свою чергу зменшує надійність роботи старих колекторних машин постійного струму електровоза постійного струму ВЛ10.

Для швидкого виявлення несправностей в електричних силових колах та колах керування електровозів, у тому числі усіх модифікацій ВЛ10 і успішного їх усунення, машиніст повинен добре вивчити і знати електричну схему електровоза, розташування усіх апаратів у високовольтній камері, в машинному відділенні та їх призначення, а також мати логічне мислення для прийняття правильного рішення.

Для оцінки можливості розробки алгоритмів по виявленню несправностей та усуненню несправностей в електричних схемах електрорухомого складу залізничного транспорту проведено аналіз літературних джерел та нормативних документів до електричного обладнання електровоза постійного струму.

Опрацьовано технічну літературу, що допомагає хасвоїти шляхи усунення несправності в допоміжних машинах тягового рухомого складу.

Для скорочення часу простою через несправність електровоза на перегонах чи станціях ці алгоритми виходу зі становища, що може статися з будь яким електричним апаратом в електричній схемі, необхідно багаторазово відпрацьовувати на тренажерах та освоювати самостійно під час поїздок.

Розглянуті будова і принцип роботи допоміжних машин електровоза ВЛ10. Для розробки алгоритму обрано дві найбільш навантажені допоміжні машини електровоза ВЛ-10, а саме - двигун мотор-вентилятора і мотор-компресор.

З метою удосконалення діагностування силового кола електровоза постійного струму в даній роботі авторами запропонований алгоритм виявлення несправностей електричної частини електровоза постійного струму ВЛ10.

Розроблений алгоритм виявлення несправностей в електричних колах електровоза постійного струму ВЛ10 має полегшити процедуру попередження можливої несправності, а також виходу з нестандартної ситуації в поїздній роботі.

УДОСКОНАЛЕННЯ ДІАГНОСТУВАННЯ СИЛОВОГО КОЛА ЕЛЕКТРОВОЗА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ВЛ11

¹Притула І.С., студент гр. ЗТБТ-21, ²Дмитрієв О.Ю., студент гр. ПМ 2412
Наукові керівники: ¹Баб'як М.О., к.т.н., доцент ²Недужа Л.О., к.т.н., доцент.

¹Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна
²Український державний університет науки і технологій м.Дніпро, Україна

The Lviv Railway uses a two-section DC electric locomotive VL11m. The possibilities of using the DC electric locomotive VL11m for double traction mode, or a pusher on a pass, are considered. To eliminate a malfunction in the operation of the current collector, algorithms for resolving an abnormal situation have been developed, which improve the system for diagnosing the power circuit of the DC electric locomotive VL11.

Надійність роботи електрорухомого складу залізниць України залежить від надійної роботи всього його обладнання, у тому числі й електричної частини, а в першу чергу від основних елементів силового кола - струмоприймача та швидкодіючого вимикача.

На даний час електровоз ВЛ11 є основним вантажним електровозом постійного струму на залізницях України. Він експлуатується у багатьох модифікаціях: ВЛ11-8, ВЛ11-М, ВЛ11-М5, ВЛ11-М6, що створює певну низку проблем для локомотивних бригад при обслуговуванні різних серій на одній ділянці експлуатації.

Зазвичай, секції електровозів ВЛ11 однотипні. Але є різні модифікації електричних схем, коли електровоз може працювати тільки двома секціями, де передбачено 8 тягових двигунів, наприклад, ВЛ11-8, або ВЛ11-м.

На даних електровозах можлива робота по системі багатьох одиниць. Тоді їхні секції можуть об'єднуватися по 3 або по 4 в один електровоз.

Азербайджан і Грузія для пасажирського руху модернізували окремі секції ВЛ11 двома кабінами та двома струмоприймачами, отримавши аналог електровоза ВЛ40у.

На Львівській залізниці використовують двосекційний ВЛ11м, аналогічно до ВЛ10. Розглянуті можливості використання електровоза постійного струму ВЛ11м для режиму подвійної тяги, або ж штовхача на перевалі.

Для діагностування силового кола струмоприймачів електровоза постійного струму ВЛ11 в роботі проаналізовано послідовність включення елементів у їхніх колах керування при нормальній роботі.

У даній роботі нами розроблений алгоритм виявлення несправностей в силовій схемі електричної частини електровоза постійного струму з метою удосконалення діагностування силового кола електровоза ВЛ11, що дозволить приділяти більше уваги найбільш відповідальним силовим апаратам електровоза.

За рахунок цього в локомотивному депо спрощується обслуговування модернізованих електровозів та полегшується вихід з можливих аварійних машиністом в поїзді.

Запропоновані розроблені алгоритми удосконалюють систему діагностування силового кола електровоза постійного струму ВЛ11.

ОЦІНКА РІВНЯ ШУМУ В КАБІНІ МАШИНІСТА ВІДПОВІДНО ДО LOC&PAS TSI

¹Славич В. В., студент групи ЗТБТ-22

Науковий керівник: ^{1,2}Кравець І.Б., PhD, доцент.

¹Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

²Львівський науково-дослідний інститут судових експертиз, м. Львів, Україна

This study assesses noise levels in the driver's cab of a ChME3 diesel locomotive and evaluates their compliance with LOC&PAS TSI requirements based on experimental measurements conducted in accordance with ISO 3381. The results show that equivalent noise levels exceed permissible limits in several operating modes, indicating the need for technical and organizational measures to reduce acoustic load. The proposed solutions can improve working conditions, enhance safety, and support the adaptation of Ukrainian rolling stock to EU standards.

Сучасні локомотиви та моторвагонний рухомий склад експлуатуються в умовах значних динамічних і акустичних навантажень, що безпосередньо впливає на умови праці локомотивних бригад. Одним із ключових факторів безпеки руху та ефективності роботи машиніста є рівень шуму в кабіні, надмірні значення якого призводять до підвищеної втоми, зниження концентрації уваги та уповільнення реакції.

В умовах євроінтеграції залізничного транспорту України особливої актуальності набуває адаптація рухомого складу до вимог Європейського Союзу, зокрема до положень Технічних специфікацій інтероперабельності LOC&PAS TSI (Регламент ЄС №1302/2014), які встановлюють гранично допустимі рівні внутрішнього шуму в кабінах локомотивів.

Метою дослідження є оцінка фактичного рівня шуму в кабіні машиніста тепловоза серії ЧМЕЗ та визначення його відповідності нормативним вимогам LOC&PAS TSI, а також розробка комплексу технічних і організаційних заходів зі зниження акустичного навантаження. Об'єктом дослідження є процес формування внутрішнього шуму в кабіні машиніста під час виконання реальних маневрових і поїзних операцій, а предметом – параметри акустичного навантаження, його джерела, інтенсивність і спектральні характеристики.

У межах роботи виконано аналіз національних і міжнародних нормативних документів у сфері обмеження шуму на залізничному транспорті, проведено експериментальні вимірювання відповідно до стандарту ISO 3381, здійснено обробку результатів із визначенням еквівалентних рівнів шуму L_{Aeq} та їх порівняння з вимогами LOC&PAS TSI.

Результати досліджень показали, що еквівалентні рівні шуму в кабіні машиніста тепловоза ЧМЕЗ у різних режимах роботи становлять 78–84 дБ(А), що перевищує допустимі нормативні значення. Найбільші перевищення зафіксовано під час проходження стрілочних переводів і подання звукових сигналів, де пікові рівні шуму перевищували 90 дБ(А). Основними джерелами шуму визначено дизельний двигун, компресор, вентиляційні установки, структурні коливання кузова та взаємодію «колесо–рейка».

На основі отриманих результатів запропоновано комплекс технічних і організаційних заходів, спрямованих на зниження шуму в кабіні машиніста, зокрема модернізацію внутрішньої обшивки з використанням сучасних звукопоглинальних матеріалів, покращення герметизації кабіни, вібророзв'язку агрегатів, оптимізацію вентиляційної системи та підвищення якості утримання інфраструктури. Очікуване зниження рівня шуму становить 8–15 дБ(А), що дозволяє досягти відповідності вимогам LOC&PAS TSI.

Практична значущість роботи полягає у можливості використання результатів для модернізації тепловозів серій ЧМЕЗ та інших локомотивів, а також для вдосконалення нормативних документів і заходів з охорони праці локомотивних бригад.

АНАЛІЗ ДОСТУПНОСТІ ВОКЗАЛУ СТАНЦІЇ ЛЬВІВ ДЛЯ МАЛОМОБІЛЬНИХ ГРУП НАСЕЛЕННЯ ВІДПОВІДНО ДО НАЦІОНАЛЬНИХ ТА ЄВРОПЕЙСЬКИХ ВИМОГ

Романишин С. Я., студент групи ЗТБТ-22
Науковий керівник: Кравець І.Б., PhD, доцент.

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

The paper presents a comprehensive assessment of the accessibility of Lviv railway station for persons with reduced mobility in accordance with national and European requirements. The study is based on an analysis of international and national regulatory documents, including TSI PRM and relevant building standards. A field survey revealed that, despite the presence of some accessible elements, the station lacks a continuous barrier-free route. Key accessibility barriers were identified in platform access, navigation systems, and level differences. A set of technical and organizational measures is proposed to improve inclusiveness and align the station with European accessibility standards.

Сучасний розвиток транспортної інфраструктури вимагає забезпечення рівного та безпечного доступу до об'єктів транспорту для всіх категорій населення, зокрема для маломобільних груп (МГН). До МГН належать особи з інвалідністю, люди похилого віку, вагітні жінки, пасажирів з дитячими візочками та особи з тимчасово обмеженою рухливістю. Забезпечення доступності залізничної інфраструктури є ключовою умовою соціальної інтеграції, мобільності та підвищення якості пасажирських перевезень.

Вокзал станції Львів є одним із найважливіших транспортних вузлів України, що обслуговує значні внутрішні та міжнародні пасажиропотоки. Його архітектурно-планувальні та технічні рішення формувалися історично, що зумовлює наявність суттєвих обмежень у контексті впровадження сучасних принципів безбар'єрності. Це обумовлює актуальність проведення комплексної оцінки доступності вокзалу з урахуванням сучасних нормативних вимог.

У роботі виконано аналіз міжнародної та національної нормативно-правової бази, що регламентує доступність транспортної інфраструктури, зокрема Конвенції ООН про права осіб з інвалідністю, TSI PRM (EU 1300/2014), EN 17210, ISO 21542 та ДБН В.2.2-40:2018. Встановлено, що європейські стандарти мають більш детальні та структуровані вимоги, що є особливо важливим при адаптації історичних вокзальних комплексів.

На основі натурного обстеження вокзалу станції Львів проаналізовано його планувальну структуру, функціональну організацію та існуючі елементи доступності. Виявлено, що попри наявність окремих адаптованих рішень (пандуси, спеціальні каси, тактильні елементи, ліфт), інфраструктура загалом має фрагментарний характер і не забезпечує формування безперервного маршруту без перешкод.

Оцінка відповідності фактичних параметрів вокзалу вимогам ДБН В.2.2-40:2018 та TSI PRM показала, що ключові елементи доступності – переходи до платформ, платформи, навігаційно-інформаційні системи та засоби для осіб із порушеннями слуху – не відповідають сучасним стандартам. Основні бар'єри пов'язані з різномірівністю маршрутів руху, відсутністю ліфтів, низькою висотою платформ та недостатнім рівнем інформаційного забезпечення.

У роботі запропоновано комплекс технічних і організаційних заходів, спрямованих на підвищення рівня доступності вокзалу станції Львів. Запропоновані рішення можуть бути використані як методична основа для модернізації інших історичних вокзалів України з урахуванням вимог інклюзивності та стандартів TSI PRM.

АНАЛІЗ ВІДПОВІДНОСТІ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДІЛЯНКИ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ ЄВРОПЕЙСЬКИМ ВИМОГАМ БЕЗПЕКИ ТА СУМІСНОСТІ

¹Мелешко М. М., студент групи ЗТБТ-22

Науковий керівник: ^{1,2}Кравець І.Б., PhD, доцент.

¹Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

² Львівський науково-дослідний інститут судових експертиз, м. Львів, Україна

Rail transport plays a crucial role in Ukraine's transport system, and ensuring compliance of railway infrastructure with European safety and interoperability requirements is essential in the context of European integration. This study analyzes the technical condition of the Lviv–Mostyska railway section in relation to the requirements of TSI INF, EN standards, and UIC recommendations. The assessment shows that while the section generally meets operational safety requirements, it does not fully comply with modern EU standards for long-term stability and interoperability. Critical deviations affecting track geometry, structural reliability, and maintenance efficiency were identified. The proposed technical and organizational measures aim to enhance safety, improve operational performance, and ensure compatibility with the European railway network.

Залізничний транспорт є одним із ключових елементів транспортної системи України та відіграє важливу роль у забезпеченні пасажирських і вантажних перевезень, економічної стійкості держави та її інтеграції до міжнародних транспортних коридорів. У контексті євроінтеграційного курсу України особливої актуальності набуває питання відповідності технічного стану залізничної інфраструктури європейським вимогам безпеки та інтероперабельності.

Європейська залізнична система базується на принципах технічної та експлуатаційної сумісності, закріплених у Технічних специфікаціях інтероперабельності (TSI). Для підсистеми «Інфраструктура» (TSI INF) визначальними є вимоги до геометрії колії, міцності елементів верхньої будови, взаємодії «колесо–рейка», довговічності, безпеки руху та експлуатаційної надійності. Водночас значна частина залізничних колій України побудована за застарілими нормативами, що зумовлює відхилення від сучасних європейських стандартів і створює ризики зниження безпеки та ефективності перевезень.

Особливої уваги потребують ділянки міжнародного сполучення та напрямки, інтегровані до мережі TEN-T, де невідповідність параметрів колії вимогам TSI обмежує пропуск сучасного європейського рухомого складу та знижує конкурентоспроможність залізничного транспорту. В умовах воєнних пошкоджень інфраструктури, зростання вантажообігу та дефіциту фінансових ресурсів об'єктивна технічна оцінка стану колії набуває ще більшої практичної значущості.

У роботі представлено результати магістерського дослідження, присвяченого аналізу відповідності технічного стану ділянки залізничної колії Львів – Мостиська вимогам безпеки та сумісності відповідно до TSI INF, стандартів EN 13848, рекомендацій UIC і чинних нормативних документів України. Проведено аналіз європейської нормативної бази, охарактеризовано умови експлуатації ділянки та здійснено оцінку фактичного стану основних елементів колії.

Встановлено, що за загальним допустимим рівнем експлуатаційної безпеки досліджувана ділянка не повною мірою відповідає сучасним вимогам Європейського Союзу щодо довготривалої стабільності параметрів і забезпечення інтероперабельності. Виявлено критичні відхилення, які можуть призводити до підвищеного зносу елементів колії, зростання динамічних навантажень та обмежень швидкості руху.

За результатами дослідження запропоновано комплекс технічних, організаційних і управлінських заходів, спрямованих на модернізацію верхньої будови колії, баластного шару, стрілочних переводів, земляного полотна та систем водовідведення, а також упровадження цифрової діагностики й ризик-орієнтованого управління. Обґрунтовано, що реалізація запропонованих рішень сприятиме підвищенню безпеки руху, зниженню

експлуатаційних витрат, збільшенню швидкостей руху та забезпеченню сумісності української залізничної інфраструктури з мережею Європейського Союзу.

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ НА ОСНОВІ НАТУРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Мелешко В. М., студент групи ЗТБТ-22
Науковий керівник: Кравець І.Б., PhD, доцент.

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

This paper focuses on improving methods for diagnosing railway track condition based on field measurements. The study analyzes and compares Ukrainian and European regulatory requirements for track geometry control for both 1520 mm and 1435 mm gauge networks. Field investigations of a track section were conducted, and practical recommendations for adapting diagnostic methods to European standards (EN 13848, TSI INF) were developed. The results support the implementation of effective and interoperable track monitoring systems in Ukraine.

Забезпечення безпеки та ефективності руху залізничного транспорту безпосередньо залежить від технічного стану колії та рівня розвитку систем її контролю і діагностики. В умовах зростання швидкостей руху, інтенсифікації вантажних перевезень і поступової інтеграції України до європейської транспортної системи актуалізується необхідність удосконалення методів оцінювання технічного стану залізничної інфраструктури.

Сучасна система діагностики колії базується на поєднанні інструментальних вимірювань, візуальних оглядів та автоматизованих засобів реєстрації геометричних параметрів. Водночас значна частина процедур залишається трудомісткою, а результати вимірювань залежать від людського фактору та умов експлуатації. Особливої актуальності ці питання набувають для ділянок колії європейської стандартної ширини 1435 мм, що впроваджуються в Україні.

У роботі виконано аналіз нормативно-технічної документації України та Європейського Союзу, зокрема вимог TSI INF, стандартів EN 13848 та рекомендацій UIC, щодо оцінювання геометричних параметрів залізничної колії. Встановлено принципові відмінності між українською системою нормування для колії 1520 мм і європейською моделлю, яка характеризується чітко визначеними числовими порогами, використанням рівнів Alert та Intervention, а також широким застосуванням автоматизованих і цифрових технологій.

На основі натурних досліджень технічного стану ділянки колії в межах Львівської залізниці виконано вимірювання основних геометричних параметрів і здійснено їх порівняння з чинними нормативами. Результати досліджень підтвердили працездатний стан колії та відповідність умовам безпечної експлуатації.

Окрему увагу приділено аналізу європейських підходів до діагностики колії 1435 мм, зокрема спектральному аналізу нерівностей, вимірюванням у кривих ділянках та контролю стрілочних переводів. Обґрунтовано доцільність використання ручних і мобільних засобів діагностики для малопротяжних ділянок євроколії в Україні.

Запропоновано комплекс практичних рекомендацій щодо вдосконалення системи діагностики української євроколії, який передбачає застосування переносних вимірювальних засобів, створення цифрових баз даних, використання GIS-технологій та адаптацію нормативної бази до вимог EN 13848 і TSI INF.

Отримані результати можуть бути використані при формуванні в Україні інтероперабельної залізничної мережі та впровадженні сучасних систем моніторингу технічного стану колії, сумісних з європейською транспортною системою.

Секція «Євроінтеграція залізничного транспорту»
Section «European integration of railway transport»

МОДЕРНІЗАЦІЯ НАЯВНИХ ПЕРЕЇЗДІВ НА НАПРЯМКАХ БУДІВНИЦТВА В УКРАЇНІ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ ЄВРОПЕЙСЬКОГО СТАНДАРТУ

Іванов Р. В., аспірант
Науковий керівник: Курган М. Б., д.т.н., професор

Український державний університет науки і технологій (УДУНТ), м. Дніпро, Україна

Key principles for the modernization of existing level crossings on routes intended for the construction of European gauge (1435 mm) lines in Ukraine are presented. The technical, safety and digital integration aspects necessary for the adaptation of the Ukrainian infrastructure to the European railway system are emphasized, including the use of intelligent level crossing control systems synchronized with ERTMS.

Безпека дорожнього руху на сьогодні є ключовим елементом розвитку суспільства. Міжнародне співтовариство приділяє значну увагу розробленню та здійсненню практичних заходів з безпеки дорожнього руху, спрямованих на запобігання дорожньо-транспортному травматизму.

Основним політичним документом у галузі безпеки дорожнього руху є політична заява, прийнята Організацією Об'єднаних Націй 10 жовтня 2019 р., щодо концентрації дій та досягнень в галузі безпеки дорожнього руху в рамках наступного десятиліття до 2030 року.

Безпека руху на залізничному транспорті – це складний комплекс проблем, пов'язаних з рухомим складом, автоматизацією управління рухом, а також системою сигналізації та інфраструктури. Автомобільні дороги, що перетинаються із залізницями на одному рівні, тобто залізничні переїзди, являють собою місця, де виникають і можуть виникнути небажані наслідки як для автомобільного, так і залізничного руху.

Залізничні переїзди на даному етапі слід сприймати як необхідність та вживати всіх доступних заходів, щоб зменшити негативні наслідки. На залізничних переїздах порушується безперервність руху автотранспорту, а в ряді випадків і залізничного транспорту, що призводить до підвищеного енергоспоживання, забруднення довкілля, втрат часу пасажирів та персоналу, збільшення часу залучення рухомого складу, зниження пропускної спроможності. До негативних наслідків також відносяться витрати на утримання залізничного переїзду та витрати, пов'язані з деякими інвестиційними проектами.

На залізницях України сьогодні експлуатуються 4945 залізничні переїзди, з яких 2343 – з автобусним рухом; 1290 – з черговим працівником; 1262 – обладнані пристроями автоматики, в тому числі 383 переїзди обладнані чотирма шлагбаумами, які забезпечують разом з основними шлагбаумами повне перекриття проїжджої частини автодороги. Аналіз стану аварійності на залізничних переїздах та коліях має на меті надати актуалізовану статистику дорожньотранспортних пригод (ДТП) на об'єктах залізничної інфраструктури України. Дослідження базується на порівнянні динаміки української аварійності із загальноєвропейськими та світовими показниками.

Аналіз статистичних даних демонструє, що показник України (1.699 ДТП на 100 переїздів) був значно вищим не тільки за середній показник ЄС-28 (0.504), але й перевищував навіть США (0.912), де щільність залізничної мережі та кількість переїздів значно вищі. При цьому Україна має порівняно низьку щільність переїздів на 1 км (0.250). Такий дисбаланс свідчить про глибоку системну проблему, пов'язану не з кількістю перетинів, а з критично низьким рівнем безпеки та водійської дисципліни на кожному окремо взятому переїзді.

Науковий інтерес представляє визначення затримок транспортних засобів, вантажів і пасажирів на переїздах, які є бар'єрними місцями на напрямках міжнародних транспортних коридорів. При проведенні модернізації залізничної колії повинні виконуватись роботи з постановки вісі колії в проектне положення в профілі й плані,

ремонт або перевлаштування переїздів. Це пов'язано з тим, що в зонах переїзду виникають вертикальні і горизонтальні нерівності колії. Якщо вони і не створюють небезпеку для руху поїздів, то впливають на плавність руху і знижують рівень комфортабельності їзди. За відсутності достатнього фінансування та інших об'єктивних причин вище зазначені роботи не виконуються в повному обсязі. Аналіз проектів капітальних ремонтів і модернізації колії, а також натурні обслідування показали, що на підходах в зоні розташування переїздів виникають нерівності в плані, так звані «злами».

Модернізація наявних залізничних переїздів на напрямках, де планується будівництво колії європейського стандарту 1435 мм, є одним із ключових етапів адаптації інфраструктури України до вимог єдиного транспортного простору ЄС. У контексті майбутнього переходу на новий стандарт колії особливої актуальності набувають питання підвищення безпеки руху, автоматизації процесів керування на переїздах та інтеграції інтелектуальних систем контролю.

Метою дослідження є визначення технічних і організаційних заходів щодо модернізації переїздів, які забезпечують сумісність із інфраструктурою колії 1435 мм і зменшують ризик виникнення транспортних інцидентів. Серед основних напрямів модернізації визначено: оновлення систем переїзної сигналізації, впровадження автоматичних шлагбаумів із дистанційним керуванням, використання відеоаналітики для контролю проїзду транспортних засобів, а також підключення переїздів до єдиної системи моніторингу стану інфраструктури.

Порівняльний аналіз стандартів переїздів для колії 1520 мм і 1435 мм свідчить про необхідність уніфікації габаритів, висоти укладки рейок та параметрів настилу для забезпечення стабільного проходження рухомого складу обох стандартів. На ділянках потенційного будівництва нових колій (зокрема Львів – Краковець, Ковель – Ягодин, Мостиська – Сянок) рекомендовано використовувати модульні переїзні настили зі збільшеною зносостійкістю, антивібраційними прокладками та інтеграцією кабельних каналів для цифрових систем зв'язку.

Важливою складовою інновацій є впровадження інтелектуальних систем управління переїздами, які синхронізуються з системою ERTMS/ETCS. Це дозволяє здійснювати адаптивне регулювання часу закриття переїзду, забезпечуючи баланс між безпекою та пропускну здатністю автомобільних доріг. Застосування енергозберігаючих світлодіодних систем, резервного живлення та радіоканалів для передачі інформації підвищує надійність експлуатації в умовах інтенсивного руху.

Наукова новизна роботи полягає у тому, що вперше для оцінки та підвищення ефективності функціонування залізничних переїздів запропоновано інтеграцію когнітивного аналізу з інженерними рішеннями, що дозволило врахувати поведінкові аспекти учасників руху та розробити адаптивні системи сигналізації й організації руху.

Практичне значення отриманих результатів полягає в можливості використання розробленої методики для удосконалення організації руху на залізничних переїздах, підвищення рівня безпеки та зниження аварійності за рахунок урахування когнітивних факторів у процесі проектування та експлуатації переїздів.

Таким чином, модернізація переїздів у рамках переходу на європейський стандарт колії є не лише технічним завданням, а стратегічним напрямом розвитку транспортної системи України. Вона забезпечує підвищення рівня безпеки, скорочення простоїв транспорту, підвищення пропускну здатності магістралей та сприяє інтеграції України до єдиної європейської транспортної мережі TEN-T.

АНАЛІЗ МІЦНІСНИХ ПАРАМЕТРІВ ПЕРСПЕКТИВНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ВАГОНА-ЗЕРНОВОЗА ДЛЯ КРАЇН ЄС

Прокопенко П.М., Хаїров С.В.

Науковий керівник: Фомін О.В., д.т.н., професор

*Київський інститут залізничного транспорту Національного транспортного
університету, Київ, Україна*

The reorientation of the Ukrainian market, including the grain market, is the result of the integration of the Ukrainian economy into the European Union economy. In turn, this requires the adaptation of the Ukrainian transport system to the European transport system for barrier-free delivery of goods to European consumers. The main disadvantage of the Ukrainian freight car fleet is the inability to move along the European transport system, due to the mismatch of the dimensions with the European infrastructure, the difference in the coupling devices of the rolling stock and the different gauge.

Transportation of grain crops to transshipment points with the countries of the European Union and to consumers is of great importance in the functioning of the Ukrainian economy.

The developed car is designed for bulk transportation of grain and other similar food bulk cargoes in bulk, with basic technical characteristics that are maximally adapted for the transportation of corn (a priority crop for Ukraine) with the possibility of operation on a gauge of 1520 mm and 1435 mm. According to the above requirements, JSC "Ukrzaliznytsia" has built a grain transportation wagon, which is adapted for operation on the railways of European countries and Ukraine.

Переорієнтація українського ринку, в тому числі ринку зернових культур, є результатом інтеграції економіки України в економіку Європейського Союзу. В свою чергу це вимагає адаптацію транспортної системи в Україні в транспортну систему країни Європи для безбар'єрної доставки вантажів європейським споживачам. Основним недоліком вантажного парку вагонів України є неможливість руху європейською транспортною системою, у зв'язку з невідповідністю габариту європейській інфраструктурі, відмінністю зчіпних пристроїв рухомого складу та різною шириною колії.

Перевезення зернових культур до пунктів перевалки з країнами Європейського союзу та до споживачів має вагомe значення в процесі функціонування економіки України.

Розроблений вагон призначений для безтарного перевезення зерна та інших аналогічних харчових сипких вантажів насипом, з основними технічними характеристиками, які максимально пристосовані для перевезення кукурудзи (пріоритетна культура для України) з можливістю експлуатації на колії шириною 1520 мм та 1435 мм. Згідно вищенаведених вимог силами АТ «Укрзалізниця» збудовано вагон для перевезення зерна, який адаптований для експлуатації на залізницях країн Європи та України.

Рама та кузов вагона для перевезення зерна виготовляється з європейської сталі S355. Розрахунок міцності вагона виконується для 2-х основних розрахункових режимів. За першим розрахунковим режимом розглядається відносно рідкісне поєднання екстремальних навантажень. Основна вимога при розрахунку на міцність за цим режимом – не допустити появи залишкових деформацій (ушкоджень) у вузлі чи деталі. Допустима напруга за цим режимом вибираються близькими до межі плинності матеріалу з урахуванням характеру дії навантаження і властивостей матеріалу.

Згідно розробленої розрахункової моделі проведено міцнісні розрахунки запропонованої перспективної конструкції вагона для перевезення зерна за I та III розрахунковим режимом. Приклади епюри навантажень наведено на рис.1.



Рис. 1 Епюра напружень за I режимом (розтяг)



Рис. 2 Епюра напружень за III режимом (розтяг)

В таблиці 1 наведено зведені максимальні значення за результатами міцнісних розрахунків конструкції вагона для перевезення зерна.

Таблиця 1 – Зведені результати міцнісного розрахунку за I та III режимами

Елемент вагона	Стиск, МПа	Розтяг, МПа	Допустиме значення, МПа	Стиск, МПа	Розтяг, МПа	Допустиме значення, МПа
	І режим			ІІІ режим		
Консольна частина	147	150	310,5	147	150	210
Передній упор	48	187	292,5	48	187	195
Задній упор	147	103	290	147	103	195
Шворнева балка	130	118	290	130	118	195
Лобова балка	47	75	290	47	75	195
Торцева стінка	155	157	290	155	157	195
Поперечна балка	180	176	290	180	176	195
Дах	161	155	290	161	155	195

Висновки. За результатами виконаного дослідження можна зробити висновки:

1. Запропонована конструкція вагона-хопера для перевезення зернових культур дозволяє безбарерну експлуатацію на транспортних системах країн Європи та України.

2. Результати нормативних міцнісних розрахунків підтверджують достатній запас міцності запропонованої конструкції вагона. Максимальні напруження за режимом І (стиск) склали 181 МПа при допустимому значенні напружень 290 МПа. Максимальні напруження за режимом ІІІ (стиск) склали 181 МПа при допустимому значенні напружень 195 МПа.

3. Достатній запас міцності кузова вагона для перевезення зерна дозволяє удосконалити його шляхом виконання з композитних матеріалів, що в свою чергу покращить техніко-економічні показники вагона для перевезення зерна.

ЄВРОІНТЕГРАЦІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ В УМОВАХ СУЧАСНОЇ РОСІЙСЬКО-УКРАЇНСЬКОЇ ВІЙНИ

Вознюк О.М.

професор кафедри воєнної історії, к.пед.н., доцент

Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного

The report examines the process of European integration of Ukraine's railway transport in the context of the ongoing Russian-Ukrainian war. It highlights the strategic role of the railway network in maintaining national security, supporting logistics, and ensuring economic stability. The paper analyzes Ukraine's efforts to harmonize technical standards with the EU, develop new rail connections of European gauge, and modernize border infrastructure. Examples include the Railway to Europe project, modernization of border crossings, and participation in the TEN-T transport network. Despite challenges such as damaged infrastructure and financial constraints, the war has accelerated reforms and strengthened cooperation with European institutions. The report concludes that railway integration is not only an economic necessity but also a crucial step toward Ukraine's full integration into the European transport and security system.

Євроінтеграція транспортної системи України, зокрема залізничної галузі, є одним із ключових напрямів адаптації нашої держави до європейських стандартів і норм. З початком повномасштабної російсько-української війни питання інтеграції української залізниці до транспортного простору Європейського Союзу набуло не лише економічного, а й стратегічного та безпекового значення. Українські залізниці стали критично важливою складовою обороноздатності країни, забезпечення гуманітарних потреб, експорту товарів і налагодження міжнародної логістики.

АТ «Укрзалізниця» залишається залізничним підприємством, яке управляє інфраструктурою та надає послуги залізничного транспорту, без фінансового та організаційного поділу між управлінням інфраструктурою та операціями. До початку повномасштабного вторгнення Україна мала одну з найрозвиненіших залізничних мереж у Європі — понад 20 тис. км колій. Саме залізниця забезпечила евакуацію мільйонів громадян, перевезення військових вантажів, палива та гуманітарної допомоги.

Після 2022 року Україна активізувала співпрацю з Європейським Союзом у сфері транспорту. Було підписано угоду про транспортний безвіз із ЄС, що спростило перетин кордону для вантажних і пасажирських перевезень. Попри значні успіхи, інтеграція української залізниці у європейський транспортний простір стикається з труднощами: різниця у колійній системі, пошкодження інфраструктури, недостатнє фінансування, кадровий дефіцит та складна координація з європейськими операторами. Війна парадоксальним чином стала стимулом для швидших реформ.

Висновки. Євроінтеграція залізничного транспорту в умовах війни стала не лише питанням економічної доцільності, а й елементом національної безпеки. Українська залізниця продемонструвала стійкість і здатність діяти в кризових умовах. Реформи, розпочаті під час війни, створюють основу для повноцінної інтеграції України до транспортної системи ЄС, відкриваючи нові можливості для економічного зростання й логістичної безпеки.

TSI-БАЗОВАНА ОЦІНКА ВІДПОВІДНОСТІ ДЛЯ ІНФРАСТРУКТУРНИХ ПРОЄКТІВ: ДІЛЬНИЦЯ МОСТИСЬКА–СКНИЛІВ

Борисовський О.М., магістр
Науковий керівник: Баль О.М., к.т.н., доц.

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

The thesis examines the assessment of conformity of railway infrastructure elements with the EU Technical Specifications for Interoperability (TSI) and applies this methodology to the reconstruction project of the Mostyska–Sknyliv section, which forms part of the TEN-T network under the Connecting Europe Facility (CEF). The study systematises EU technical regulation, analyses TSI INF, CCS, ENE and PRM requirements, and identifies the conformity assessment modules (SH1, SG) relevant for infrastructure reconstruction. A methodological framework is developed, including a TSI–EN compliance matrix, track geometry evaluation based on EN 13848, and risk analysis using CSM-RA (402/2013/EU). Based on project data, an EC Verification Plan is prepared, confirming that design parameters for the 1435 mm and 1520 mm tracks, engineering structures and signalling systems meet core interoperability and safety requirements. The results demonstrate the feasibility of applying EU conformity assessment procedures to Ukrainian railway projects and support the integration of national infrastructure into the European railway system.

Магістерська робота присвячена дослідженню методів оцінки відповідності інфраструктурних елементів залізничного транспорту вимогам Технічних специфікацій інтероперабельності (TSI) Європейського Союзу та можливостям їх практичного застосування в Україні під час реконструкції ділянки Мостиська–Скнилів у межах проєкту CEF. Актуальність теми визначається необхідністю технічної інтеграції української залізничної мережі до системи TEN-T у контексті євроінтеграційного курсу держави та вимог Регламентів ЄС щодо забезпечення інтероперабельності, безпеки та надійності інфраструктури.

У роботі систематизовано правові засади технічного регулювання ЄС, зокрема Директиву 2016/797/ЄС, TSI INF, CCS, ENE та PRM, а також гармонізовані стандарти EN. Проведено аналіз українських технічних регламентів і визначено рівень їх відповідності європейським нормам. Основним об'єктом дослідження виступає інфраструктурна ділянка Мостиська–Скнилів, яка має стратегічне значення для прикордонних перевезень та запуску руху по колії 1435 мм до Львова.

Запропоновано методологію оцінки відповідності проєктних рішень, яка включає побудову матриці відповідності TSI—EN—ДСТУ, визначення необхідних модулів оцінки відповідності (SH1, SG), а також застосування методики CSM-RA (402/2013/EU) для аналізу ризиків та формування Hazard Log. Розроблено підхід до оцінки геометричних параметрів колії з використанням EN 13848 та до валідації проєктних рішень щодо штучних споруд відповідно до Eurocodes.

На основі проєктних матеріалів реконструкції сформовано попередній EC Verification Plan, що імітує процедуру оцінки відповідності, яку застосовують нотифіковані органи ЄС. Установлено, що проєктні рішення для колії 1435 мм відповідають вимогам TSI INF для швидкості 160 км/год, а модернізація колії 1520 мм

забезпечує безпечну експлуатацію зі швидкістю до 120 км/год. Проаналізовано заплановані роботи з реконструкції контактної мережі, переїздів, мостів, систем сигналізації та диспетчеризації, що підтверджує відповідність вимогам інтероперабельності та безпеки.

Результати дослідження демонструють можливість практичного застосування процедур ЄС з оцінки відповідності до українських інфраструктурних проєктів та підкреслюють важливість гармонізації національних технічних норм зі стандартами ЄС. Запропонована методологія може бути використана для подальших проєктів модернізації залізниць у межах програм CEF та TEN-T і сприятиме розвитку технічної сумісності українського та європейського залізничного транспорту.

АНАЛІЗ ВІДПОВІДНОСТІ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ПРИ БУДІВНИЦТВІ КОЛІЇ НА ДІЛЯНЦІ «УЖГОРОД–ЧОП» ВИМОГАМ СУМІСНОСТІ ВІДПОВІДНО ДО TSI INF

¹Завируха А. І., студент групи ЗТБТ-21

Науковий керівник: ^{1,2}Кравець І.Б., PhD, доцент.

¹Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

² Львівський науково-дослідний інститут судових експертиз, м. Львів, Україна

This paper analyzes the compliance of technical solutions implemented during the construction of the 1435 mm standard-gauge railway line on the Uzhhorod–Chop section with the requirements of the Technical Specification for Interoperability for Infrastructure (TSI INF). The study assesses key infrastructure elements, including track geometry, superstructure and substructure, turnouts, engineering structures, and signaling systems, in terms of their interoperability with European railway networks. The results show that the analyzed section largely meets TSI INF requirements, while several technical and organizational measures are recommended to achieve full interoperability and integration into the TEN-T network.

Процеси європейської інтеграції України зумовлюють необхідність глибокої трансформації залізничної інфраструктури з урахуванням принципів інтероперабельності та технічної сумісності з мережами Європейського Союзу. Однією з ключових передумов такої інтеграції є відповідність інфраструктури вимогам технічних специфікацій взаємодії (TSI), зокрема TSI INF, яка регламентує параметри підсистеми «Інфраструктура».

Ділянка «Ужгород–Чоп» є першим в Україні масштабним проєктом будівництва залізничної колії європейського стандарту ширини 1435 мм, орієнтованим на забезпечення транскордонного сполучення з країнами ЄС та інтеграцію до мережі TEN-T. Її реалізація має стратегічне значення для розвитку міжнародних вантажних і пасажирських перевезень та формування сумісної залізничної інфраструктури.

У роботі виконано аналіз відповідності технічних рішень, реалізованих під час будівництва зазначеної ділянки, вимогам TSI INF та гармонізованим європейським стандартам. Дослідження охоплює оцінку геометричних параметрів колії, конструкції верхньої та нижньої будови, стрілочних переводів, земляного полотна, штучних споруд, габаритів, а також технічних систем сигналізації, централізації і зв'язку.

Особливу увагу приділено аналізу вибору рейок, шпал, баласту, типів проміжних рейкових скріплень, характеристик стрілочних переводів та їх відповідності вимогам безпеки і експлуатаційної надійності. Оцінено стан систем СЦБ з точки зору вимог TSI CCS та перспектив впровадження європейської системи управління рухом поїздів ETCS.

За результатами дослідження встановлено, що технічні рішення на ділянці «Ужгород–Чоп» у цілому відповідають основним вимогам TSI INF, однак потребують подальшого розвитку та модернізації окремих елементів для досягнення повної інтероперабельності. Запропоновано комплекс технічних, організаційних та

експлуатаційних рекомендацій, спрямованих на підвищення рівня сумісності інфраструктури та адаптацію українських проєктів колії 1435 мм до стандартів ЄС.

Отримані результати можуть бути використані при проєктуванні нових та модернізації існуючих ділянок європейської колії в Україні, а також у процесі сертифікації інфраструктури та формування галузевих програм інтеграції залізничного транспорту до європейського транспортного простору.

КОНЦЕПЦІЯ СУЧАСНОГО ПРИКОРДОННОГО ВОКЗАЛУ ЯК МІЖНАРОДНОГО ХАБУ

Український А.С., Томенчук В.В.

Науковий керівник: Германюк Ю.М., к.т.н., доцент.

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

The paper examines the concept of a modern border railway station using the example of Chop station as a prospective international transport hub within Ukraine's European integration processes. The relevance of upgrading border infrastructure is substantiated by the growing passenger flows, the expansion of the TEN-T network, and the ongoing development of standard-gauge railway connections with the EU. The study analyses key challenges of existing border stations, including mixed passenger flows, insufficient digitalisation, limited inclusiveness, and inadequate service provision. The paper proposes a set of architectural, organisational, technological, and digital solutions aimed at reducing border-crossing time, improving comfort and safety, and ensuring environmentally sustainable operations. The implementation of the proposed concept will enhance the efficiency of international passenger transport and contribute to Ukraine's deeper integration into the European transport space.

Інтеграція України до Європейського Союзу супроводжується включенням ключових транспортних вузлів (Львів, Ужгород, Чоп, Ковель) до розширеної мережі TEN-T як логістичних хабів, що мають забезпечувати безперервні міжнародні потоки пасажирів і вантажів.

У 2023 році «Укрзалізниця» перевезла у 2,1 раза більше пасажирів до країн ЄС, ніж у 2022 році, що свідчить про стабільне зростання попиту на міжнародні залізничні перевезення навіть в умовах війни. Загалом залізниця повернулася до довоєнних обсягів пасажирських перевезень – понад 57 млн пасажирів у 2024 році.

На тлі повномасштабної агресії та системних ударів по залізничній інфраструктурі, що загрожують життєво важливим транспортним коридорам, особливо актуальним є підвищення стійкості та безпеки прикордонних вузлів, які забезпечують як військову, так і цивільну мобільність.

У 2024–2025 рр. Україна розпочала будівництво та розвиток ліній європейської колії (1435 мм) на напрямку Чоп – Ужгород та в бік кордону, що розглядається як елемент глибокої інтеграції до транспортної системи ЄС і спрощення прикордонних операцій. Паралельно Європейський інвестиційний банк виділяє 50 млн євро на модернізацію залізничних пунктів пропуску з країнами ЄС, а Уряд України затвердив Стратегію розвитку прикордонної інфраструктури до 2030 року. За таких умов прикордонний вокзал станції Чоп набуває стратегічного значення як майбутній міжнародний транспортно-пасажирський хаб, що повинен відповідати вимогам TEN-T, європейським стандартам сервісу, безпеки й інклюзивності.

Більшість існуючих прикордонних вокзалів України, зокрема й на напрямку Чоп, мають застарілу планувальну структуру, змішані пасажирські потоки, низький рівень цифровізації, недостатню інклюзивність та обмежені можливості для швидкого перетину кордону. Це призводить до значних часових витрат, зниження пропускнуєї спроможності

та погіршення якості сервісу для пасажирів і перевізників. Враховуючи вищенаведене у роботі запропоновано інтегровану концепцію прикордонного вокзалу нового покоління як міжнародного транспортно-сервісного хабу, в межах якої вокзал: функціонує як вузол TEN-T і платформа мультимодальної мобільності; поєднує інтелектуальні системи керування потоками, автоматизовані пункти пропуску, е-квиток, QR-ідентифікацію та інформаційні панелі в єдиному цифровому середовищі; реалізує принципи інклюзивного дизайну та «зеленої» інфраструктури (зелений дах, рекуперація води, енергоефективні системи живлення).

Основні результати:

1. Архітектурно-планувальне зонування. Запропоновано чітке розділення пасажирської, контрольної та сервісної зон, що дозволяє відокремити потоки пасажирів, мінімізувати перехрещення траєкторій та скоротити час проходження процедур.

2. Цифровізація та автоматизація процесів. Концепція передбачає застосування е-квитків, QR-ідентифікації, систем попереднього контролю, інформаційних табло реального часу, а також інтеграцію вокзалу з ІТ-системами прикордонних та митних служб.

3. Оптимізація пасажирських потоків. Введення спеціалізованих проходів для різних категорій пасажирів (пасажирів з дітьми, маломобільні особи, організовані групи тощо) та зручних пересадочних вузлів між видами транспорту стимулює зростання міжнародного сполучення, у тому числі на нових маршрутах Київ – Кошице – Братислава через Чоп.

4. Комфорт і доступність. Передбачено створення комфортних зон очікування, кімнат для матері й дитини, робочих просторів, сервісів харчування та торгівлі, а також повну безбар'єрність для маломобільних груп населення.

5. Безпека й стійкість. Комплекс включає системи відеоспостереження, технічні засоби огляду багажу, а також рішення для підвищення стійкості до кіберзагроз і фізичних атак на критичну інфраструктуру, що особливо важливо в умовах воєнних дій і зростання загрози кібератак на ІТ-системи УЗ.

6. Екологічність і відповідність європейським стандартам. Застосування енергоощадних технологій, зарядних станцій, зеленого озеленення та рішень зі скорочення викидів відповідає підходам ЄС до розвитку сталого транспорту й модернізації мережі TEN-T.

Реалізація запропонованої концепції на прикладі вокзалу станції «Чоп» дозволить скоротити час перетину кордону та підвищити пропускну спроможність; покращити сервіс для пасажирів, у тому числі соціально вразливих груп; забезпечити більш ефективну інтеграцію України до європейської транспортної системи; посилити стійкість прикордонної інфраструктури до воєнних, терористичних та кіберзагроз; створити базу для масштабування подібних рішень на інші прикордонні вокзали.

Отже, сучасний прикордонний вокзал має розглядатися як ключовий елемент мультимодального міжнародного хабу, орієнтованого на людину, безпеку та інновації. Концепція модернізації вокзалу станції «Чоп» відповідає стратегічним пріоритетам України щодо євроінтеграції, розвитку мережі TEN-T та створення стійкої транспортної системи, здатної ефективно функціонувати навіть в умовах воєнних викликів.

Секція «Інжиніринг криз та ризиків транспортних послуг»
Section «Crisis and risk management in transport services»

МЕТОД CBRA ЯК ІНСТРУМЕНТ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ ЩОДО РЕКОНСТРУКЦІЇ ЗАЛІЗНИЧНОГО ПЕРЕЇЗДУ

Орловська О.В., магістр

Науковий керівник: Болжеларський Я.В., к.т.н., доцент

Національний університет «Львівська політехніка», м.Львів, Україна

A brief overview of the current state of the transport sector, with particular attention to railway level crossings, is provided. The issue of assessing the feasibility of investment projects based on a comprehensive analysis using the CBRA method is addressed. The advantages of this method in decision-making on the reconstruction of level crossings are outlined, with emphasis placed on the essence of economic analysis and societal benefits. The expected outcomes of applying the CBRA method in addressing current challenges in sector development are identified.

При вирішенні питань інвестування коштів в інфраструктурні проєкти, важливим етапом є проведення комплексного дослідження об'єкта з метою визначення доцільності вкладання грошових засобів. При цьому, особлива увага приділяється реконструкції та модернізації залізничних переїздів для забезпечення безпеки руху.

Залізничні переїзди за своєю функціональністю є пунктом перетину автомобільних та залізничних доріг, але тим самим є потенційно небезпечними через виникнення підвищеної аварійної небезпеки. Для зменшення рівня загрози, згідно Інструкції з облаштування залізничних переїздів, об'єкти повинні бути обладнані необхідними засобами організації руху, а саме: світлофорами, попереджувальними знаками тощо.

Станом на теперішній час в Україні експлуатується понад 5 тисяч переїздів різних категорій, значна частина яких потребує модернізації у зв'язку зі зростанням інтенсивності руху на автомобільних дорогах, а також через наявність застарілих елементів транспортної інфраструктури, оновлення яких вимагають процеси інтеграції національної транспортної системи до європейської транспортної мережі.

Перед транспортною галуззю сьогодні поставлені вимоги, основні з яких стосуються недостатнього або невідповідного технічного оснащення транспортної галузі: застарілі системи сигналізації, проблеми з організацією логістики та планування комбінованих перевезень, обмежена видимість колії через особливості рельєфу, недосконала організація руху та інші фактори, що створюють загрозові ситуації, які здатні привести до ДТП. Процес прийняття рішення про необхідність реконструкції переїздів потребує комплексного підходу та детального аналізу ситуації. В таких випадках найбільш ефективним способом оцінки є застосування багатофакторного аналізу ризиків - CBRA (*Cost Benefit Risk Analysis*), який дозволяє оцінити технічні, організаційні, людські та екологічні аспекти роботи переїзду, виявити ризики, що впливають на безпеку руху.

При здійсненні оцінювання за CBRA-методом беруться до уваги наступні параметри:

- інтенсивність руху поїздів і трафіку автомобілів;
 - видимість та особливості геометрії під'їзних шляхів;
 - наявність та ефективність сигналізації;
 - ретроспективу аварійності даної ділянки;
 - потенційні наслідки ДТП для суспільства (матеріальні, соціальні, екологічні).

Перевага даного методу полягає у можливості дати об'єктивну оцінку показнику ризику, що значно спрощує вибір оптимального варіанта реконструкції та дозволяє прийняти та обґрунтувати рішення. Застосування методу CBRA, як різновиду методу СВА, дає можливість визначити найбільш ефективні заходи із забезпечення безпеки, а також приділити підвищену увагу ризикам. Даний метод дозволяє розглядати можливі наслідки, а також дозволяє здійснювати прогнози розрахунки результативності

інвестицій у перспективі, що є важливим під час планування державних і місцевих бюджетів

Використання СВА-аналізу дозволяє визначити фінансові та економічні ефекти, які отримує суспільство внаслідок реконструкції переїзду. Фінансові вигоди будуть братись до уваги у випадку, якщо буде братись плата за користування переїздом з кожного авто або пішохода. Економічний ефект від реконструкції переїздів буде проявлятися у непрямих вигодах для суспільства, які включають у себе економію для населення від скорочення часу у дорозі, зниження впливу на навколишнє середовище від дії транспорту, зниження аварійності та негативного впливу на здоров'я.

Питання актуальності проведення реконструкцій та модернізації транспортної галузі у період повоєнного відновлення сьогодні є значним викликом для України. Проблема забезпечення безпеки транспортних переходів, які забезпечують критичну логістику, потребують оцінки ризиків, що можуть негативно вплинути на розвиток галузі. В період відновлення транспортних шляхів доцільно було використати багатофакторний аналіз, який враховує різні сценарії розвитку подій, дозволить дати обґрунтовану оцінку витратам, дозволить уникнути недоцільних витрат.

Таким чином, метод CBRA може стати саме тим необхідним способом оцінки, який дозволить приймати рішення щодо проведення реконструкції залізничних переїздів. Застосування цього підходу приведе до мінімізації ризиків аварійності, підвищить рівень безпеки на залізниці. Також він дозволить сформувати сучасну та безпечну транспортну систему країни.

В умовах євроінтеграції української транспортної системи, даний метод відповідає сучасним міжнародним нормам оцінки ризиків, що важливо для інтеграції України у європейський транспортний простір.

РИЗИК-ОРІЄНТОВАНА ОЦІНКА ІНФРАСТРУКТУРИ ЗАЛІЗНИЦЬ ДЛЯ TEN-T

Борис Н.Б., магістр
Науковий керівник: Баль О.М., к.т.н., доц.

Національний університет «Львівська політехніка», м.Львів, Україна

The study examines the technical condition and functional safety of railway track on key sections of the Stryi Track Maintenance Division (PCh-5) in the context of Ukraine's integration into the EU TEN-T network. Using the requirements of EN 13848, TSI INF and the CSM RA (EU 402/2013), the research evaluates track quality through the Qn index, deviation classification, risk assessment and degradation forecasting. The average Qn ranges from 1.1 to 2.6 mm (II–IV quality classes), while critical deviations comprise 3–15%. Degradation rates of 0.20–0.40 mm/year indicate that the Stryi–Skole–Lavochne and Stryi–Drohobych sections will reach the threshold state within 2–3 years, whereas Stryi–Morshyn remains stable. The results support data-driven maintenance planning and strengthen alignment with EU safety and interoperability requirements.

Інтеграція української залізничної системи до європейської транспортної мережі TEN-T вимагає впровадження сучасних підходів до оцінки технічного стану інфраструктури відповідно до стандартів Європейського Союзу. Одним із ключових напрямів є забезпечення технічної справності та безпеки залізничної колії, що визначає стабільність руху поїздів і ефективність експлуатації залізничного транспорту. З огляду на положення Директив ЄС 2016/797 та 2016/798, а також Технічного регламенту безпеки інфраструктури, актуальним є застосування методів діагностики відповідно до вимог стандартів EN 13848 і системи управління ризиками CSM RA (EU 402/2013).

Метою дослідження є оцінювання технічного стану та рівня функціональної безпеки залізничної колії на ділянках Стрийської дистанції колії (ПЧ-5) і розроблення практичних рекомендацій для підвищення надійності та безпеки експлуатації. Для цього

виконано аналіз нормативно-технічної бази, визначено основні параметри стану колії, здійснено розрахунок індексу якості Q_n відповідно до вимог EN 13848-5, проведено оцінку ризиків за методикою CSM RA та розроблено прогноз зміни технічного стану за трендовими моделями.

За результатами дослідження встановлено, що усереднений індекс якості колії Q_n на дільницях Стрийської дистанції становить 1,1–2,6 мм, що відповідає II–IV класам якості за EN 13848. Частка критичних відхилень IV–V ступенів коливається у межах 3–15 %, а темп деградації геометричних параметрів — 0,2–0,40 мм на рік залежно від умов експлуатації. Прогноз показав, що граничний стан ($Q_n = 3,0$ мм) найближчими роками досягнуть дільниці Стрий – Сколе – Лавочне та Стрий – Дрогобич (приблизно через 2–3 роки), тоді як дільниця Стрий – Моршин характеризується стабільним технічним станом і прогнозованим ресурсом понад 7–8 років. На основі отриманих даних сформовано журнал небезпек (Hazard Log), побудовано матрицю ризику (P–S) та розроблено CAPA-план із визначенням пріоритетних заходів для усунення критичних відхилень і зниження рівня ризику.

Наукова новизна роботи полягає у розробленні інтегрованої методики оцінювання технічного стану та функціональної безпеки залізничної колії, яка поєднує індекс Q_n , аналіз ризиків і прогнозування деградації технічного стану. Запропоновано підхід до формування Safety File як складової системи управління безпекою (SMS) для підготовки до авторизації безпеки інфраструктури відповідно до Директиви (ЄС) 2016/798.

Практична цінність отриманих результатів полягає у можливості їх використання АТ «Укрзалізниця» для удосконалення системи моніторингу стану колії, планування ремонтів на основі фактичних даних, впровадження цифрових технологій оцінювання технічного стану та підвищення рівня відповідності інфраструктури вимогам TSI INF.

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ДЛЯ РОЗРОБКИ ШЛЯХІ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ НА ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕЇЗДАХ

Кучерявий В.В., магістр

Науковий керівник: Болжеларський В. В., к.т.н., доц.

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

For the purpose of preventing collisions at railway level crossings, the Ishikawa method and the bow-tie method were applied. Based on the analysis of a real railway accident, the corresponding diagrams were developed and preventive measures (barriers) were proposed to avoid such incidents in the future. Two of the proposed barriers are considered in detail.

Хоча залізничний транспорт в Україні традиційно вважається одним із найбезпечніших видів транспорту, рівень аварійності залишається суттєвим. За даними Державної служби України з безпеки на транспорті (Укртрансбезпека), у 2024 році на залізницях України сталося 451 аварія та 213 інцидентів, унаслідок яких загинуло 187 осіб та 118 осіб отримали травми. Одним із підходів до зниження рівня аварійності та кількості травмувань на залізничному транспорті є запобігання інцидентам шляхом системного аналізу подій, що вже відбулися. На нашу думку, на сьогодні цій проблематиці приділяється недостатня увага.

У більшості випадків офіційні та технічні розслідування інцидентів на залізничному транспорті, а також судові експертизи залізнично-транспортних пригод зосереджуються насамперед на встановленні причин інциденту та осіб, дії або бездіяльність яких були пов'язані з його настанням. Питання запобігання подібним подіям у майбутньому та формування рекомендацій щодо недопущення їх повторення часто залишаються поза увагою або опрацьовуються поверхово.

Крім того, недостатньо уваги приділяється аналізу ефективності наявних запобіжних заходів – бар'єрів, які мали б не допустити інцидент або мінімізувати його наслідки.

Зіткненням на залізничних переїздах можна запобігти як правильними діями машиністів та водіїв так і застосуванням технічних засобів запобігання зіткнень.

З використанням двох методів керування ризиками, а саме метод Ішікави та метод «Краватка-метелик» проаналізовано ризики зіткнення поїзда з автомобілем на залізничному переїзді.

За допомогою методу Ішікави визначено чотири категорії причин, які призводять до головної події – зіткнення на залізничному переїзді. У категорії причин, які відносяться до машиніста встановлено, що основною з них є пізнє застосування гальм, яке, у свою чергу, може бути спричинено іншими факторами.

Оскільки зіткнення на залізничному переїзді не є єдиним можливим наслідком знаходження автомобіля у межах габариту рухомого складу при наближенні поїзда, для аналізу активних та реактивних бар'єрів, які можуть запобігти негативним наслідкам, використано метод «краватка-метелик». При побудові відповідної діаграми встановлено 10 джерел ризику, 2 фактори ескалації, що призводять до центральної події, а також чотири можливі наслідки настання центральної події. Для кожного фактору та наслідку запропоновані відповідно, превентивні та реактивні бар'єри.

Детально розглянуто один превентивний бар'єр (встановлення інформаційного табло часу наближення поїзда) та один реактивний бар'єр (впровадження вимоги невідкладного приведення в дію гальм при виявленні перешкоди в габариті).

Гальмівний розрахунок показав ефективність запропонованого реактивного бар'єру для запобігання наслідків конкретної ЗТП. Ефективність превентивного бар'єру доведена науковими публікаціями, присвяченими даному питанню.

Реалізація запропонованих заходів сприятиме підвищенню безпеки руху, тобто поставлена у роботі мета досягнута.

ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКУ СХОДУ З РЕЙОК РУХОМОГО СКЛАДУ ПРИ ВИЯВЛЕНІ ПОШКОДЖЕНЬ ВЕРХНЬОЇ БУДОВИ КОЛІЇ МЕТОДОМ ПОБУДОВИ ДЕРЕВА ПОДІЙ

Пироженко І.С., магістр

Науковий керівник: Болжеларський В. В., к.т.н., доц.

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

A case of damage to the track superstructure and four scenarios of event development after the driver detects this damage are considered. For each scenario, the probability of the following outcomes is calculated: no derailment occurs; a derailment with severe consequences occurs; or a derailment with moderate consequences occurs. It is substantiated that, when a train is running at a relatively high speed, the application of emergency braking should be avoided.

Від кваліфікованих дій машиніста при виявленні несправності залізничної інфраструктури залежить ймовірність настання сходу з рейок та його наслідки. Оцінити вказану ймовірність дозволяє один з методів керування ризиками, а саме побудова дерева відмов.

Розглянуто чотири сценарії розвитку подій після виявлення машиністом пошкодження інфраструктури, які охоплюють рух пасажирського та вантажного поїзда з порівняно високою і порівняно низькою швидкістю. Для кожного сценарію визначена ймовірність настання чотирьох подій (машиніст застосував екстрене гальмування; відстань до місця несправності більша за гальмівний шлях; послаблена колія здатна витримати зусилля від гальмівної сили та (або) проходження рухомого складу; швидкість у момент проходження несправності висока (більше 20 км/год)) та трьох результатів

(сходу з рейок не відбувається, відбувається схід з посередніми наслідками, відбувається схід з важкими наслідками).

При моделюванні сценарії виникнення сходу з рейок встановлено, що у сценаріях 1 та 2 (при русі поїздів з високими швидкостями) відстань відкриття об'єктивної видимості машиністом місця пошкодження інфраструктури є набагато меншою за гальмівний шлях поїзда. У зв'язку з цим швидкість у момент проходження несправності знижується незначно (на 3-4%), що майже не впливає на наслідки сходу. У той же час гальмівна сила уже починає зростати і може досягнути значень 300 кН. Вказана сила діятиме вздовж колії і може спричинити ще більше порушення її геометрії.

Ймовірність сходу з рейок у даних сценаріях висока, однак вона є нижчою у випадку незастосування екстреного гальмування. Практично у даних сценаріях все залежить від здатності колії витримати навантаження, а вказана здатність зменшиться у випадку застосування екстреного гальмування, при цьому наїзд на місце перешкоди усе одно відбудеться.

У сценарії 3, у якому розглядається рух вантажного поїзда зі швидкістю близько 40 км/год, на відстані об'єктивної можливості відкриття видимості зниження швидкості може становити близько 13% і існує ймовірність, що швидкість знизиться до значень, близьких до 20 км/год, що значно зменшить наслідки сходу. Однак при цьому і поздовжня сила від гальмування значно зростає і, згідно розрахунків, може сягнути 1000 кН, що може спровокувати збільшення порушення геометрії колії.

При прийнятих значеннях ймовірностей подій у цьому сценарії ймовірність сходу є нижчою при застосуванні екстреного гальмування, ніж при його незастосуванні. При цьому, у випадку, якщо машиніст не застосовує екстрене гальмування, зростає також ймовірність сходу з важкими наслідками. Таким чином у сценарії 3 (рух вантажного поїзда зі швидкістю близько 40 км/год) застосування екстреного гальмування є виправданим.

При четвертому сценарії (рух пасажирського поїзда з невеликою швидкістю) ймовірність того, що схід з рейок не відбудеться при застосуванні екстреного гальмування, є високою і складає 92%. При незастосуванні екстреного гальмування, ймовірність того, що сходу не відбудеться, складе 60%. При цьому, якщо схід відбудеться, то це буде схід з важкими наслідками при швидкості більше 20 км/год. Тому при русі пасажирського поїзда з невеликою швидкістю при виявленні перешкоди для руху однозначно слід застосовувати екстрене гальмування.

Заходами управління у цьому випадку є організаційні та технічні заходи впливу на ймовірності виникнення проміжних подій для забезпечення максимальної ймовірності результату «сходу з рейок не відбувається», а при неможливості цього – результату «відбувається схід з рейок з посередніми наслідками».

Запропонована модель сценаріїв виникнення ризику сходу з рейок рухомого складу дозволяє розробляти відповідні заходи управління, що призведе до підвищення безпеки руху, тобто мета роботи досягнута.

ПСИХОЛОГІЧНІ ЧИННИКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕРСОНАЛУ У ВИСОКОРИЗИКОВИХ УМОВАХ ТРАНСПОРТНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

Ольга Жогло, кафедра Психології діяльності в особливих умовах

Національний університет цивільного захисту України, м. Черкаси, Україна

Personnel in the transport sector often work under high-risk and stressful conditions, which affect both safety and performance. These theses examine key psychological factors influencing personnel effectiveness, including stress, cognitive load, concentration, and motivation, as well as methods for managing them to enhance occupational safety. Practical recommendations are provided for integrating psychological approaches into safety systems to improve efficiency and reduce operational risks.

У сучасних транспортних системах персонал часто працює в умовах підвищеного ризику та постійного стресового навантаження. Це обумовлено високою відповідальністю за безпеку перевезень, необхідністю швидкого прийняття рішень у критичних ситуаціях, складністю технічних процесів і взаємодією з великою кількістю учасників транспортного процесу. Психологічні чинники відіграють ключову роль у забезпеченні ефективності виконання професійних обов'язків, здатності до адекватної оцінки ситуації, прогнозування можливих ризиків та прийняття оптимальних рішень у реальному часі.

Серед основних психологічних чинників, що визначають ефективність персоналу, виділяють рівень стресу та емоційної напруги, когнітивне навантаження та здатність до багатозадачності, мотиваційні та енергетичні ресурси працівника, рівень концентрації та психологічної стійкості, а також навички прийняття рішень у нестандартних та кризових умовах. Підвищення ефективності персоналу неможливе без системного врахування цих чинників у програмах підготовки та управління безпекою праці.

У роботі проаналізовано сучасні методи оцінки психологічного стану співробітників. Зокрема, використовується психологічне тестування для оцінки рівня стресу та когнітивної готовності, моніторинг психоемоційного стану персоналу з метою своєчасного виявлення перевантаження та потенційної втрати концентрації, а також когнітивне тестування для оцінки здатності до багатозадачності. Додатково розглядаються методи психологічного навчання, включно з тренінгами з управління стресом, вправами на розвиток концентрації, когнітивної гнучкості та симуляційними вправами, що відтворюють кризові ситуації, характерні для транспортної сфери.

Особлива увага приділяється інтеграції психологічних методів у систему охорони праці та безпеки персоналу. Запропоновано комплекс практичних заходів: регулярне психологічне тестування, що дозволяє оцінити рівень стресу та когнітивної готовності; моніторинг психоемоційного стану персоналу для своєчасного виявлення перевантаження; навчальні програми з управління стресом і розвитку концентрації для підвищення ефективності роботи; супервізія та психологічна підтримка у кризових ситуаціях, що зменшує ризик помилок та аварійних випадків. Реалізація цих заходів сприяє підвищенню продуктивності, зниженню ймовірності помилок та забезпеченню збереження психічного здоров'я працівників.

Комплексне поєднання психологічної підготовки персоналу з технічними та організаційними заходами безпеки забезпечує підвищення рівня безпеки на робочих місцях, зниження кількості аварій та помилок, а також покращує якість прийняття управлінських рішень у транспортній діяльності. Запропоновані рекомендації можуть бути застосовані у залізничному транспорті, логістичних компаніях та інших секторах, де людський фактор має критичне значення для безпеки та ефективності роботи. Інтеграція психологічних методів у систему охорони праці сприяє не лише зменшенню ризиків для персоналу, а й підвищенню продуктивності, поліпшенню взаємодії між працівниками та забезпеченню довготривалої стабільності функціонування транспортних систем.

Таким чином, психологічні чинники є ключовими для ефективності персоналу у високоризикових умовах транспортної діяльності. Їх системне врахування та інтеграція у заходи з охорони праці та безпеки сприяють зниженню ризиків, підвищенню продуктивності, поліпшенню взаємодії між працівниками та забезпеченню стабільності функціонування транспортних систем.

Список використаних джерел

1. Твердохлебова Н. Є. Психологічні аспекти безпеки праці. 2021. С. 141–146. URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/54b4e10c-7a11-416f-96e0-f2cd2f861d65/content>

ВПРОВАДЖЕННЯ МЕТОДУ КЕРУВАННЯ РИЗИКАМИ RCM У СИСТЕМУ ТЕХНІЧНОГО ОГЛЯДУ ТЕПЛОВОЗІВ

Костюк В.В., магістр

Науковий керівник: Болжеларський В. В., к.т.н., доц.

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

The implementation of the RCM method in the electric locomotive maintenance system is proposed. Using the example of the PK-356 electropneumatic contactor of the VL80 electric locomotive, the possibilities of applying this method within the existing electric locomotive maintenance system are demonstrated. A task table for the given contactor has been developed.

Планово-попереджувальна система ТО та ремонту не може функціонувати після реформування залізничного транспорту і впровадження європейських принципів функціонування ринку транспортних послуг. Однією з причин цього є відкриття ринку для приватних компаній, які на конкурентній основі будуть пропонувати свої послуги з технічного обслуговування та ремонту рухомого складу.

У основу нової системи ТО та ремонту локомотивів може бути покладено метод RCM, який є одним з методів керування ризиками. Можливість та переваги застосування даного методу відображено у значній кількості праць вітчизняних та закордонних учених.

У результаті аналізу недоліків та переваг існуючої системи ТО та ремонту електровозів, напрацювань вітчизняних і закордонних учених у напрямку її раціоналізації встановлено, що існуюча планово-попереджувальна система ТО та ремонтів має ряд недоліків, які унеможливають її застосування при переході на європейські принципи функціонування ринку залізничних перевезень.

Розглянуто метод RCM у стосунку до його застосування для обґрунтування параметрів системи ТО електровозів. Визначено вхідні дані та результати, а також недоліки та переваги даного методу. Встановлено, що для вирішення поставленої задачі, а саме – для удосконалення систем ТО електровозів, даний метод може бути застосований.

Розроблено рамкову структуру RCM, яка включає в себе наступні складові: лідерство та зобов'язання; інтеграція управління ризиками у структуру підприємства; розуміння особливостей організації та контексту її діяльності; формулювання зобов'язань щодо управління ризиками; призначення організаційних ролей, повноважень, відповідальності та підзвітності; розподіл ресурсів; встановлення комунікацій; впровадження та вдосконалення.

Проаналізовано показники надійності електровозів і вибрано групу обладнання, яке має найнижчу надійність. Такою групою є електричне обладнання, у тому числі пневматичні контактори. Розрахунок надійності показав низький рівень коефіцієнту готовності даного обладнання при існуючій системі ТО та ремонтів.

Розроблено пропозиції щодо впровадження методу RCM для обґрунтування параметрів системи технічного обслуговування електровозів.

Аналіз проводився за визначеною ISO 31010 процедурою RCM. Спочатку визначено функції контактора (забезпечувати своєчасне замикання/розмикання силового кола) та сформульовано функціональну відмову – неспроможність виконати цю функцію. Для цієї відмови ідентифіковано основні режими відмов (failure modes) контактора на основі статистичних несправностей: - невиключення (не замикає коло), - невідключення (контактор застряг замкненим), - підвищений опір або нагрів контактів, - уповільнене або неповне спрацювання.

Складено таблицю вибору завдань для контактора ПК-356 електровоза ВЛ80. Визначено чотири режими відмови, для кожного з яких встановлено інтервал, спосіб виявлення, причини, тип та опис завдання та інтервал виконання завдання.

Виконані завдання сприятимуть підвищенню ефективності системи технічних обслуговувань та ремонтів електровозів шляхом впровадження методу RCM.

**Секція «Сучасні транспортні технології та логістика процесу
перевезень»
Section «Modern transport technologies and logistics»**

INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN THE DESIGN OF RAILWAY BUFFER STOPS

Szulc Samuel, Dudarenko Olha, PhD

Kensus limited liability company limited partnership, Poland

The study presents modern innovative approaches to the design of railway buffer stops aimed at increasing energy absorption efficiency, operational reliability, and structural durability. Hybrid damping systems—combining hydraulic, friction, pneumatic, and elastomeric mechanisms—are considered as one of the most promising directions for improving performance under dynamic impact loads. Advanced numerical modelling techniques, including Lagrangian-based dynamic simulation and transient fluid–structure interaction analysis, provide the basis for optimizing resistance characteristics and predicting real-system behavior. Particular emphasis is placed on adaptive control technologies, smart diagnostic systems, and new-generation materials that collectively contribute to the development of next-generation energy-absorbing devices. The results of the study summarize patent trends, theoretical approaches, and engineering practices relevant to the modernization of railway buffer stop systems.

Railway buffer stops are critical safety components used to absorb the kinetic energy of rolling stock during terminal maneuvers and emergency braking. Increasing train mass, higher operational speeds, and stricter safety standards have stimulated the development of innovative technologies that significantly enhance the performance and reliability of buffer systems. Recent patent analyses and engineering studies indicate clear trends toward hybrid, adaptive, and digitally managed energy-absorption devices.

A key innovation in this field is the introduction of hybrid damping systems. Hydraulic dampers provide high energy capacity and controlled force characteristics, while friction mechanisms ensure rapid suppression of residual oscillations through dry-friction dissipation. Pneumatic chambers, governed by a polytropic compression law, mitigate sudden pressure spikes and contribute to smoother force–displacement characteristics during impact events. Elastomeric components further increase damping stability, especially under variable temperature and frequency conditions, enabling multi-stage, adaptive absorption of impact energy.

Modern design strategies place significant emphasis on dynamic modelling. Unlike static approaches, dynamic simulations incorporate nonlinear damping characteristics, fluid inertia, transient pressure fluctuations, turbulence effects, and valve-induced flow instabilities. Numerical integration methods such as Runge–Kutta and Newmark are used to solve the governing equations of motion derived through the Lagrange formalism, allowing for accurate prediction of impact behavior and optimization of design parameters. These models enable engineers to anticipate undesirable effects—pressure surges, hydraulic shocks, piston oscillations—and implement corrective design measures.

Materials science contributes another important dimension to innovation. High-performance elastomers with enhanced thermal stability, along with composite structural elements, ensure long-term durability and consistent damping characteristics. Multi-chamber elastomeric components can effectively distribute loads, minimize structural vibrations, and extend the lifetime of buffer stop assemblies.

A rapidly evolving direction is the integration of adaptive damping and smart control technologies. Variable-geometry throttling channels, electronically controlled valves, and real-time pressure regulation systems allow the buffer stop to adjust its response depending on train mass, approach speed, and impact severity. Such adaptive systems reflect global trends in intelligent railway infrastructure and contribute to the development of safer and more flexible operational environments.

Equally important is the introduction of digital twin technology into the lifecycle of buffer stop systems. Coupling high-resolution simulations with experimental measurements of pressure, displacement, and velocity enables predictive maintenance and enhances reliability. Digital twins

allow continuous monitoring of structural degradation, assessment of performance under extreme loads, and reduction in maintenance costs through data-driven optimization.

Overall, innovative technologies in buffer stop design focus on higher energy capacity, improved adaptability, and digitalization of system behavior. The introduction of hybrid dampers, advanced materials, intelligent control algorithms, and comprehensive dynamic modelling creates a foundation for next-generation, high-performance railway buffer stops capable of ensuring operational safety and infrastructure durability.

RAIL NOISE AND VIBRATION MITIGATION: EVALUATION OF THE SA-25 SOLUTION

Olszewski Arkadiusz, magister, Sosyk Andrii, PhD

Kensus limited liability company limited partnership, Poland

This paper presents an analysis of the SA-25 technology, a modern solution designed to achieve broadband reduction of rail-induced noise and structural vibrations generated by the wheel–rail interaction. Conventional mitigation methods—primarily rubber-based elements and narrowband damping devices—exhibit limited effectiveness under variable operational conditions and provide no stable acoustic improvement across the full range of relevant frequencies. The SA-25 concept, developed on the basis of spectral analysis and advanced modelling of rail system dynamics, delivers uniform energy reduction across a wide frequency spectrum. Computational results and preliminary evaluations indicate a decrease in equivalent noise energy by 31–37%, and up to 40–42% for the enhanced version. The device is protected as a legally registered utility model, confirming the originality and innovative character of the solution.

Rolling noise and structural vibrations of the rail constitute one of the most significant acoustic impacts of railway transport on the surrounding environment. The frequency range between approximately 250 Hz and 4 kHz contains the dominant portion of acoustic energy that determines human perception of railway noise and governs compliance with environmental standards in densely populated areas. As demonstrated in technical analyses, traditional mitigation devices—such as rubber pads, under-rail inserts, and narrowband damping systems—are characterised by substantial variability of performance, gradual loss of effectiveness over time, and limited capability to provide consistent noise suppression across the entire operational spectrum. As a result, only partial attenuation is achieved, leaving considerable gaps in the frequency domain, particularly in the ranges critical for human perception and long-distance propagation.

The SA-25 solution was developed as a response to these limitations, with the objective of providing stable and broadband noise reduction under real operating conditions. The technology is founded on advanced spectral analysis of rail vibrations and modern approaches to the modelling of railway system dynamics. In contrast to traditional narrowband devices, the broadband approach inherent in SA-25 ensures uniform vibration suppression across all critical frequencies, eliminating the so-called “attenuation gaps” characteristic of rubber-based and resonance-type systems. Analytical results confirm that such a method leads to notable reduction not only in local noise at the rail but also in long-distance acoustic propagation, which is essential for urban areas, metro systems, and high-speed lines.

Computational evaluations and initial experimental findings indicate that the SA-25 device can reduce the equivalent acoustic energy by 31–37%, while the enhanced version reaches 40–42%. These values significantly exceed the typical performance of conventional rubber dampers, which provide only around 20% reduction under comparable conditions. Importantly, the effectiveness of the SA-25 remains consistent across the full operational frequency range and under variable environmental conditions, clearly demonstrating the advantages of the broadband approach in contemporary railway noise and vibration control.

It should be emphasised that the SA-25 represents an original engineering development protected by an officially registered utility model under the title “Tłumik drgań szynowych SA-25”, confirming the intellectual property rights of the authors and the uniqueness of the proposed concept. This strengthens the technological value of the solution and supports its potential integration into future certification and implementation processes in accordance with modern European environmental requirements.

НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ПРИМІСЬКИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УКРАЇНІ

Бандрівський П. П.

Науковий керівник: Возняк О. М. к.т.н., доцент, доцент кафедри транспортних технологій

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

The increasing demands of passengers regarding transportation require the improvement of passenger transit processes, as well as the enhancement of comfort, speed, reliability, and safety. In conditions of limited resources and funding, it is necessary to identify key development directions for the suburban transportation network and adhere to European standards and recommendations in order to accelerate integration into the European transportation system.

Незважаючи на розвиток автомобільних маршрутів, а також зростання частки власного транспорту серед населення, залізничні приміські перевезення залишаються важливим транспортним сполученням для щоденної маятникової трудової та соціальної міграції населення [1]. Проблеми функціонального та організаційного характеру приміських пасажирських перевезень на залізничному транспорті вже описані, як багатьма науковцями [2-4], так і висвітлені у звітах Укрзалізниці. На даному етапі постає питання забезпечення усіх вимог пасажирів щодо перевезень та збереження конкурентоспроможності на ринку послуг. Варто відзначити, що сучасна стратегія розвитку транспортної мережі міст та приміських територій Європейського союзу базується на принципах сталого розвитку, екологічної безпеки та координації різних видів транспорту. Головними векторами удосконалення є: скорочення шкідливих викидів у атмосферу, енергоефективність рухомого складу, цифровізація перевезень, моніторинг пасажиропотоків, забезпечення мобільності, зручності та доступності перевезень.

Пріоритетним напрямком для приміського залізничного транспорту на даний час в Україні є курс на євроінтеграцію. Згідно постанови кабінету міністрів Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року та затвердження операційного плану заходів з її реалізації у 2025-2027 роках основними стратегічними цілями є [5]:

- відновлення та розвиток конкурентоспроможної та ефективної транспортної системи, інтегрованої до транс'європейської транспортної мережі, відповідно до політики та стандартів ЄС;
- забезпечення якісних пасажирських перевезень та безперешкодної мобільності;
- безпечний, людиноцентричний, екологічний та енергоефективний транспорт з курсом на декарбонізацію;
- досягнення інституційної спроможності, розвиток людського капіталу та забезпечення ефективного управління у галузі транспорту.

Слід зауважити, що описані вище цілі відносяться до транспорту в цілому. Для приміського залізничного транспорту можна виділити наступні напрямки розвитку:

- впровадження єдиного ринку перевезень з Європейським союзом та формування відкритої транспортної системи;
- модернізація пристроїв, технічного обладнання та інфраструктури для підвищення безпеки, швидкості та ефективності перевезень;

- удосконалення технологій для зменшення викидів у атмосферу;
- використання енергоефективного рухомого складу;
- модернізація прикордонних залізничних пунктів;
- цифровізація перевезень (впровадження електронних квитків, мобільних додатків, використання цифрових табло на станціях, вокзалах та рухомому складі для інформування пасажирів у режимі реального часу);
- використання рекламних програм у рухомому складі, відповідно до правил розміщення реклами у транспортному засобі;
- формування тарифів згідно європейських стандартів (директива 2012/34/ЄС від 21 листопада 2012 року).

Адаптація та введення в дію директив Європейського союзу залишається основним напрямком розвитку приміського залізничного транспорту України у найближчі роки, оскільки це сприятиме розширенню та модернізації внутрішньої транспортної мережі, а також входженню у європейський транспортний простір, що дозволить покращити інтеграцію регіонів та створить умови для зручного транспортного сполучення між сусідніми державами. Крім цього це дасть змогу створити конкурентний та прозорий ринок перевезень, який буде працювати з дотриманням європейського законодавства.

Список використаної літератури

1. Борсук Ю. Приміські залізничні перевезення в Україні: особливості територіальної організації і тенденції розвитку. *Grail of Science*. 2025. № 55. С. 780–788. URL: <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.22.08.2025.095>.
2. Нестеренко Г., Озерова О., Яновський П. (2012) Особливості організації сучасних приміських перевезень європейських країн. *Транспортні системи і технології перевезень*. 4, 89–92.
3. Voznyak O., Bandrivskyi P. Analysis of the efficiency of suburban passenger transportation on the Lviv railway sections. *Transport technologies*. 2024. Vol. 2024, no. 2. P. 42–52. URL: <https://doi.org/10.23939/tt2024.02.042>.
4. Мельник Т., Мельник О. Пріоритетний розвиток приміського сполучення як перспективний шлях наслідування європейської моделі організації залізничних пасажирських перевезень. *InterConf*. 2023. № 33(155). С. 48–56. URL: <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.05.2023.005>.
5. Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року та затвердження операційного плану заходів з її реалізації у 2025-2027 роках: Постанова Каб. Міністрів України від 27.12.2024 № 1550 : станом на 13 берез. 2025 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1550-2024-п#Text>.

АНАЛІЗ ТА ОЦІНКА ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА СУМІСНОСТІ СИСТЕМ ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО УПРАВЛІННЯ У ТРАНСКОРДОННОМУ РУСІ

Маслиган А.М., студент групи ЗТУП-21

Наукові керівники: Мигаль Г.В., д.т.н., професор, професор кафедри транспортних технологій; Возняк О. М. к.т.н., доцент, доцент кафедри транспортних технологій

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

Для усунення неузгоджень у експлуатаційній сумісності систем управління рухом на залізничному транспорті європейського континенту з початку 1990-х років розробляється уніфікована європейська система управління рухом поїздів (ETCS – European Train Control System), яка активно використовує радіоканал для передачі даних. На даний час в Україні і країнах Євразійського союзу також активно здійснюються дослідження і розробки у сфері подібних систем.

Системи, які використовують радіоканал і супутниковий зв'язок застосовуються як в станційних, так і в перегінних системах залізничної автоматики. На перегонах в різних країнах світу вони застосовуються як системами автоматичної локомотивної сигналізації, так і в системах автоблокування. Дані системи відрізняються від звичайних вітчизняних, які використовують для передачі сигналів на локомотив рейкове коло. Щоб краще зрозуміти відмінності в підходах між вітчизняними та зарубіжними розробками, здійснимо порівняння систем з різними способами отримання інформації на прикладі перегінних систем автоблокування.

Існуючі в Україні системи побудовані, як правило, на електромагнітних реле з використанням числового коду і, незважаючи на ряд модернізацій, мають деякі мінуси:

- показання локомотивного світлофора, не відображає потребу в обмеженні допустимої швидкості проходження колійних світлофорів залежно від довжини блок-ділянки і необхідного дотримання швидкості на ній;
- їх неможливо застосовувати на високошвидкісних ділянках внаслідок їх інерційності (7-12 с);
- функціонування каналу передачі інформації з рейок на локомотив в значній мірі залежить від стану верхньої будови колії, що ускладнює їх налаштування для різних кліматичних умов, і, як наслідок – підтримання телемеханічного каналу у працездатному стані, що спричиняє значні експлуатаційні витрати;
- складність застосування при збільшенні вантажопідйомності поїздів у результаті наявності ізолюючих стиків і дросель-трансформаторів, які у значній мірі обмежують тягові струми.

Крім цього, ці системи вимагають значної кількості обладнання на перегонах: світлофори, релейні шафи, дросель-трансформатори. Це обладнання потрібно постійно обслуговувати та охороняти, що неефективно з економічної точки зору.

З метою усунення недоліків старих систем на початку дев'яностих років минулого століття були запропоновані системи з використанням радіоканалу і координатних принципів інтервального регулювання.

У таких системах використовуються різні технічні рішення: супутникові навігаційні системи (СНС), активні датчики позиціонування локомотива на ділянках колії, системи контролю цілісності поїзда, високошвидкісний цифровий радіоканал з опорною радіомережею, колісні датчики шляху і швидкості та ряд інших пристроїв.

На даний час ETCS запроваджується на багатьох залізницях не тільки Європи, а й світу. Поширення системи ускладнюється тим, що раніше були здійснені значні інвестиції в існуючі національні пристрої АЛС і перехід до ETCS вимагає подвійного обладнання ліній та/або рухомого складу протягом тривалого часу. За межами Європи ETCS використовується на деяких лініях залізниць Тайваню, Республіки Корея, Китаю, Саудівської Аравії, Туреччини, Індії, Австралії, Мексики тощо.

Залежно від оснащення дільниць специфікації ETCS передбачають п'ять рівнів системи: 0, 1, 2, 3 та STM.

Принципи роботи рівнів систем розглянемо на прикладі системи Train Guard® компанії Siemens.

Siemens пропонує своїм клієнтам оптимізовані рішення ETCS з одного джерела Trainguard для ETCS;

Trainguard 100 – вирішення для додатків ETCS рівня 1;

Trainguard 200 – вирішення для додатків ETCS рівня 2;

Trainguard 300 – вирішення для додатків третього рівня ETCS.

Trainguard 100 – вирішення для додатків ETCS Level1

Trainguard 100 передає необхідну інформацію на бортову локомотивну антену засобами колійних датчиків (баліз). Інформація про стан (вільна для руху, зайнята тощо) передається за допомогою блокувальних сигналів і вибирається компонентом LEU ETCS. LEU переводить цю інформацію на мову ETCS і перенаправляє її на поїзди через спеціальні датчики EUROBALISE. Пасивні балізи служать для передачі даних, наприклад

інформації про місцезнаходження та параметри колії. Експлуатація без колійних сигналів також можлива, якщо LEU отримує сигнал від блокування і направляє його на активний датчик. На рівні 1 органи управління рухом можуть також випускатися за кількома розділами, що забезпечує високопродуктивну роботу рівня 1 зі швидкістю до 350 км/год.

На дисплеї кабіни постійно перед машиністом відображається дозволена швидкість і профіль колії. На додаток до інформації про його стратегію ведення поїзда, машиніст отримує інформацію про обмеження швидкості та інші робочі дані. При перевищенні допустимої швидкості руху машиніст спочатку отримує візуальний і звуковий сигнал. Якщо він не реагує, поїзд сповільнюється до допустимої швидкості. Перед небезпечними точками, якщо крива гальмування перевищена, Trainguard забезпечує ступінчасте гальмування (службове гальмування, екстрене гальмування).

Trainguard 200 – вирішення для додатків рівня 2 ETCS

Ключовою особливістю ETCS Level2 на відміну від рівня 1 є те, що інформація, яка необхідна для безпечного руху певною ділянкою колії, передається на поїзд засобами радіо з RBC (радіо блок центр). З цією метою використовується GSM-R – цифрова система мобільного зв'язку для залізничного транспорту (за межами Європи в якості опції можуть використовуватися інші радіосистеми, наприклад TETRA). Отже, для визначення положення поїзда і для передачі даних, які не змінні необхідні тільки пасивні балізи. Сигнали можуть як і раніше використовуватися для змішаної роботи, хоча вони більше не потрібні для операцій рівня 2. Інформація, про координату точок передається від RBC, яка і передається на бортовий блок ETCS. Пропускна здатність лінії значно збільшується. Ведення поїзда через кілька блок-ділянок забезпечує короткі переходи на максимальний швидкості.

Trainguard 300 – вирішення для додатків третього рівня ETCS

Застосування пов'язане з тим, що елементи на колії більше не потрібні, що дає змогу отримати економічну вигоду на Рівні 3 ETCS. Існує також можливість роботи з фіксованими або рухомими блок-ділянками. На третьому рівні, який на даний час не стандартизований, Siemens може використовувати свою повну системну компетентність, оскільки обладнання рухомого складу та колійні рішення розроблені з одного джерела. На рівні 3 поїзди беруть активну участь у захисті маршрутів і повинні надійно гарантувати цілісність рухомого складу для RBC. Таким чином, RBC здатний оптимізувати рух поїздів. З Trainguard 300 ETCS Level3, Siemens пропонує додатки в європейському та глобальному масштабі.

Компанія Siemens не є єдиним в Європі виробником систем для Європейських ліній. Зокрема, одноколійна лінія Västerdalsbanan довжиною 134 км обладнана системою INTERFLO 550 компанії Bombardier.

ОЦІНКА ТА ПРИВЕДЕННЯ РІВНЯ ШУМОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ НА СОРТУВАЛЬНІЙ ГІРЦІ ДО УМОВ ОПЕРАЦІЙНОЇ СУМІСНОСТІ

Коцаба Р. А., студент групи ЗТУП-21

Науковий керівник: Возняк О. М. к.т.н., доцент, доцент кафедри транспортних технологій

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

Метою даної роботи є пошук шляхів зниження рівня шумів у межах сортувального парку станції та приведення його рівня до вимог інтегрованості

В умовах праці у сортувальному парку, працівники відчують на собі негативний вплив акустичного забруднення, спричинений, в першу чергу, специфікою роботи. Особливо впливу відчують ті працівники, які працюють безпосередньо «у полі». Цей вплив може проявлятися у нервових розладах, серцево-судинних захворюваннях, постійному недосипанні та у інших хворобах. Людина може адаптуватися до багатьох видів впливу, але не до акустичного забруднення. Попри це, встановлено, що шум

шелесту листя, співу птахів, дзюрчання струмка, звуків дощу оздоровче впливають на нервову систему людини [5]. Тому варто звертати увагу на таке поняття як інтенсивність або рівень шуму.

Рівень шуму в 20-30 дБА практично нешкідливий для людини. Це природне шумове тло, без якого неможливе людське життя. Для «голосних звуків» допустима границя приблизно 80 дБ. При шумі 68-90 дБА виникають неприємні відчуття, при 120-130 дБА – болючі, при 150 дБА – необоротна втрата слуху, при 180 дБА – смерть, зі звуком у 190 – 200 дБА вибухає атомна бомба.

При порівнянні вимог TSI із вимогами нормативних документів України встановлено, що Україна застосовує два стандарти, на які вказує TSI Рухомий склад – шум: ДСТУ EN 15461:2015 та ДСТУ EN 15610:2015. Крім зазначених стандартів в Україні з довідковою метою застосовуються ГОСТ 32203-2013, який є модифікацією стандарту ISO 3095:2005 (на цей стандарт також вказує TSI Рухомий склад – шум), а також ГОСТ 32206-2013 та ГОСТ 33325-2015. Із проведеного аналізу випливає, що вимоги рівнів шуму, який випромінюється рухомим складом у нормативних документах України у деяких випадках дещо завищені, аніж у TSI. Також відмінності існують у методиках проведення вимірювань.

При оцінці травмуючого впливу звуку на організм людини рівень звукового тиску потрібно корегувати, оскільки вухо людини на різних частотах по-різному відчуває звуки. Зокрема, наприклад, на частоті 16 Гц травмуючий вплив звукового тиску на вухо людини приблизно в 10 000 разів менший, аніж такий ж тиск на частоті 1 000 Гц – найчутливішій частоті людського вуха (писк молодого комара). Тому, щоб наблизити виміряні значення до чутливості людського вуха, при визначенні рівнів шуму на різних частотах, свідомо корегують значення звукового тиску. Тому існує чотири види фільтрів (А, В, С та D), які застосовують при вимірюванні рівнів шуму.

З метою оцінки рівнів шумового забруднення на робочих місцях працівників сортувального парку було проаналізовано методи проведення вимірювань рівнів шуму та прилади, за допомогою яких це реалізовується. Для проведення вимірювань рівнів шумів на робочих місцях використаний був шумомір Benetech GM1356, особливістю якого є те, що він працює автономно, має внутрішню пам'ять, USB- порт для з'єднання із комп'ютером, а також програмне забезпечення для обробки на комп'ютері отриманої інформації.

При проведенні вимірювань на шумомірі застосовувався фільтр А характеристики. та, з метою накопичення більшої кількості даних, вимірювання здійснювались у режимі “Fast” впродовж часу проведення розпуску складу поїзда з гірки. Обробка результатів вимірювання проводилась за допомогою програми- частотного аналізатора. Значення рівнів звуку на частотах 16; 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000 та 8000 Гц фіксувались. Далі, за методикою, яка викладена у ДСН 3.3.6.037-99 визначались еквівалентні рівні шуму.

Вимірювання проводились у п'яти різних точках сортувальної горловини станції: X1 – на горбі сортувальної гірки, де здійснюється найбільший вплив на складача поїздів; X2 – в приміщенні де проводить розпуск черговий по сортувальній гірці (ДСПГ) та оператор при ньому; X3 – біля приміщення техконтори, де вплив здійснюється безпосередньо на оператора СТЦ; X4 – на третій гальмівній позиції, де вплив здійснюється на оператора третьої гальмівної позиції; X5 – в середині приміщення техконтори, де вплив здійснюється на операторів СТЦ, які працюють із документами.

Результати проведених вимірювань свідчать, що фактично усі значення перевищують допустимі. Зокрема, для точки X2 рівень шумового забруднення навіть при закритих вікнах значно перевищує допустимий, який для цього типу робіт, згідно ДСН становить 65 дБ.

У приміщеннях III-ї гальмівної позиції та техконтори, де нормований максимальний рівень шуму становить 75 дБ, також досить високі значення шумового забруднення, які майже наближаються до допустимого.

І для досліджених робочих місць поза межами приміщень, де нормований максимальний рівень шуму становить 80 дБ, також є перевищення значення допустимого шумового забруднення.

Виходячи із даних робимо висновок, що усі із перерахованих робочих місць працівників сортувального парку потребують застосування заходів щодо зменшення рівня впливу шуму на людей.

Також необхідно зазначити те, що частотний аналіз проведених вимірювань шуму показав: до 5000 Гц існують домінантні тональні частоти, які перевищують 120 дБ. Зокрема на частоті 1548 Гц виміряний рівень шуму становив 124 дБ(А), на частоті 1624 Гц – 123 дБ(А) та на частоті 3288 Гц – 122 дБ. Це характеризує особливо несприятливу акустичну обстановку для широкого оточення горбової частини сортувального парку при застосуванні технологій з використанням сповільнювачів кліщевидних типів.

Виходячи із проведених досліджень ефективності застосування заходів щодо зниження рівнів шуму, можна стверджувати, що найбільший ефект для зниження впливу шуму на працюючих в межах парку сортувальної гірки дає застосування підбаластних килимів та колійних абсорберів. Однак, у межах більшості існуючих вагонних сповільнювачів монтаж таких засобів ускладнений.

Хороший результат щодо зменшення рівня шуму дає змащування робочої поверхні сповільнювачів, однак рівень зменшення шуму такими пристроями поки різний, найімовірніше, внаслідок нерівномірності нанесення і погодних умов.

Застосування точкових вагонних сповільнювачів також дає хороший результат, однак для високої якості гальмування відчепів необхідно встановлення значної кількості таких сповільнювачів.

Деяким вирішенням проблеми поширення шуму від самих сповільнювачів є застосування у їх зоні «низьких» бар'єрів.

Ще одним способом вирішення проблем, спричинених надмірним шумовим навантаженням на працівників є глобальна модернізація не окремих частин залізничного полотна і рухомого складу, а всього комплексу в цілому шляхом впровадження нових технологій, які мають менший ступінь шумової дії. Даний метод має велику ефективність, проте і вартість такого методу підвищується непропорційно до поліпшення стану проблеми.

У будь-якому випадку при запровадженні заходів щодо зниження рівнів шуму у сортувальному парку необхідно зважати на значну кількість факторів. У кожному конкретному випадку прийняття того чи іншого рішення повинно супроводжуватись проведеннями попередніх досліджень.

АНАЛІЗ СТАНУ ТРАНСПОРТНОЇ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ ТА ОРГАНІЗАЦІЇ ТРАНСКОРДОННИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УМОВАХ ВІЙСЬКОВОЇ АГРЕСІЇ

Ковалик Р.В., студент групи ЗТУП-21

Науковий керівник: Возняк О. М. к.т.н., доцент, доцент кафедри транспортних технологій

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

Транспортна галузь України і надалі залишається одним із ключових секторів соціально-економічного розвитку держави та відіграє фундаментальну роль у забезпеченні її функціонування, підтримці національної економіки й інтеграції в міжнародні логістичні системи. Сучасна транспортна інфраструктура країни, попри значні втрати й руйнування, продовжує включати розгалужену мережу залізниць, автомобільних доріг, діючих морських портів і річкових терміналів, автостанцій та вантажних митних комплексів, а також систему міського й приміського пасажирського транспорту. Це

створює необхідні передумови для задоволення базових потреб населення й забезпечення діяльності бізнесу навіть в умовах воєнного стану.

Національна мережа автомобільних доріг загального користування продовжує функціонувати, маючи протяжність понад 169 тис. км, хоча окремі її ділянки пошкоджені або потребують відновлення. Залізнична система довжиною майже 20 тис. км залишається ключовою для вантажних і пасажирських перевезень, причому електрифіковані ділянки становлять майже половину мережі. Повітряний простір України для цивільної авіації тимчасово закритий, проте країна зберігає статус важливого сухопутного та водного транзитного коридору між Європою та Азією.

До 2022 року в Чорноморському та Азовському басейнах, а також в дельті Дунаю в Україні функціонувало 13 морських портів із сумарною вантажопереробною спроможністю, за довоєнними оцінками, близько 313 млн тон – хоча реально порти обробляли менші обсяги, зокрема у 2020 році морські порти України перевалили близько 159 млн тон вантажів за рік. Проте фактичні обсяги вантажообігу були нижчими за проєктну потужність, що свідчить про резерв для збільшення інтенсивності перевалки.

Після початку повномасштабної агресії та відповідної блокади частини портової інфраструктури значна частина довоєнних портів (зокрема на Азові та деякі чорноморські) втратила функціональність або була змушена призупинити операції. Наразі до числа діючих морських портів належать порти регіону «Великої Одеси» (Південний, Одеса, Чорноморськ) та три порти дунайського кластера – Ізмаїл, Рені та Усть-Дунайськ. Ці порти стали основою відновлення морської логістики. У 2024 році вони разом забезпечили вантажообіг 97,2 млн тонн, що було офіційно зафіксовано як рекордний показник для умов воєнного часу.

Україна використовує близько 1,5 тис. км внутрішніх судноплавних шляхів, з яких особливо важливими стали дунайські маршрути. На цих маршрутах зберігається робота морських контейнерних та поромних ліній, завдяки яким забезпечуються рейси до партнерів у Чорноморському регіоні через доступні порти.

Основу перевалки у 2024 році становили зернові та рудні вантажі, які забезпечили значну частину обсягу: близько 60 млн тон зернових та 18,5 млн тон руди. Порти регіону «Великої Одеси» забезпечили найбільші обсяги: порт Південний – 35,55 млн тон, Чорноморський – 26,04 млн тон, Одеський – 18,30 млн тон. Дунайські порти, у свою чергу, також забезпечили значну частину морського вантажообігу, що підкреслює стратегічну роль річково-морських маршрутів в умовах обмежень.

Таким чином, навіть за умов значних обмежень, Україна змогла зберегти основну морську логістику та частково відновити експортні маршрути – завдяки функціонуванню «українського морського коридору» та активному використанню портів, які залишаються під контролем. Також продовжують розвиватися річково-морські перевезення, річковий транспорт та річкові термінали, що частково компенсує втрату портів на Азові та інших заблокованих регіонах.

До 2022 року загальна довжина автомобільних доріг загального користування становила близько 163–166 тис. км (з них ~ 47,7 тис. км – державного значення, ~ 118,6 тис. км – місцевого). Проте близько половини доріг не відповідають сучасним стандартам якості – що негативно впливає на швидкість перевезень і загальну ефективність дорожнього транспорту. З початком повномасштабної агресії значна частина дорожньої інфраструктури (дороги, мости, автошляхи) зазнала руйнувань: за оцінками 2025 року, було пошкоджено або зруйновано понад 26 000 км доріг та 344 мостові споруди, що створює додаткове логістичне навантаження на ті ділянки, які залишилися працездатними.

Незважаючи на це, автомобільний транспорт зберігає свою важливу роль. За перші сім місяців 2025 року автотранспорт перевіз 66,7 млн тон вантажів – хоча це нижче за аналогічний період минулого року, інтенсивність автоперевезень зменшилася меншою мірою ніж сумарний вантажообіг по країні, що свідчить про подовження маршрутів і зростання ролі автотранспорту у вантажній логістиці. У пасажирських перевезеннях частка автомобільного транспорту в пасажирообігу становить близько 42 %, що

підтверджує його важливість для внутрішніх перевезень, особливо в регіонах із недостатнім залізничним або муніципальним транспортом.

Однак через поганий стан дорожньої мережі, пошкодження інфраструктури та зростання логістичних ризиків, ефективність автомобільних перевезень знижена порівняно з довоєнним періодом.

Залізнична мережа України залишається найбільшою та найстабільнішою складовою транспортної системи. Її протяжність – близько 19,8 тис. км, з яких понад 47 % – електрифіковані колії. У сучасних умовах залізничний транспорт виконує провідну роль у вантажних і транзитних перевезеннях, замінюючи велику частину колишніх морських потоків, особливо на експорт і транзит до країн ЄС через прикордонні переходи. Автомобільна мережа загального користування охоплює приблизно 163–164 тис. км доріг, хоча значна частина потребує відновлення через бойові пошкодження інфраструктури. За таких умов автомобільний транспорт доповнює залізничні й річково-морські маршрути, забезпечуючи внутрішню логістику та з'єднання з прикордонними терміналами та залізничними вузлами.

Сприятливим для подальшого розвитку залізничного транспорту в Україні є географічне розташування країни на перетині важливих міжнародних маршрутів. Через територію України проходять три пан'європейські залізничні коридори — № 3, № 5 та № 9, які підтримують міжнародне сполучення. Міністерство інфраструктури України+1 Крім того, країна бере участь у мультимодальному міжнародному транспортному коридорі TRACECA (Європа — Кавказ — Азія), що створює можливості для транзиту вантажів між Європою, Кавказом і Азією через українську транспортну мережу.

Новим важливим полем інтеграції є те, що з грудня 2023 року Україна і European Union погодили оновлені індикативні мапи TEN T (Транс'європейської транспортної мережі), які включають українські залізничні маршрути. У межах цих змін передбачено поступове прокладання колій європейського стандарту 1 435 мм, зокрема на напрямках Львів – Рава-Руська – Люблін, Чоп – Ужгород – Львів, Мостиська – Скнилів та інших важливих сполученнях з ЄС – що суттєво підвищує перспективи інтеграції залізничної мережі України до європейської мережі.

Серед європейських залізничних коридорів, які мають потенціал для подальшого розвитку сполучень через Україну, – колишній вантажний коридор RFC Amber. Хоча з 1 жовтня 2025 року частина маршрутів RFC Amber інтегрована у нову мережу RFC Baltic Adriatic, колишні лінії коридору демонстрували високу гнучкість у налагодженні логістики з Україною, зокрема для перевезень зерна і промислових вантажів після початку війни.

Водночас розвиток залізничної інфраструктури в Україні зараз поєднує виклики та нові можливості. Наприклад, у 2025 році завершено будівництво першої ділянки колії стандарту 1 435 мм між містами Ужгород і Чоп – важливого кроку для інтеграції з європейською системою колій та полегшення транзиту до країн Євросоюзу. Така модернізація створює передумови для поступового переходу на євростандарти, що може підвищити швидкість, надійність і конкурентоспроможність української залізниці як транзитної артерії між Європою, Азією і Чорноморським регіоном.

Отже, навіть в умовах війни і переформатування транспортних потоків, залізничний транспорт в Україні має значний потенціал для відновлення і інтеграції з міжнародною транспортною мережею, за рахунок поєднання традиційних коридорів, участі в TRACECA та адаптації до стандартів TEN T.

Повномасштабна війна та закриття повітряного простору для цивільної авіації з 2022 року суттєво вплинули на функціонування авіаційного сектору України. Цивільні пасажирські рейси було практично повністю припинено, що призвело до зупинки класичного авіаперевізного потоку.

Проте авіаційна логістика, особливо вантажні перевезення змогла адаптуватися. Компанії переналаштували свої логістичні ланцюги через європейські хаби (наприклад, аеропорти у Варшаві, Франкфурті, Кракові, Жешуві), звідки вантажі доставляються

автомобільним, залізничним або комбінованим транспортом в Україну. У 2023–2024 роках це стало основним механізмом підтримки імпорту, експорту та гуманітарних вантажів, незважаючи на те, що обсяг авіаперевезень у 2022 році впав на ~80% порівняно з довоєнним рівнем. За даними галузевих звітів, у 2024 році структура авіавантажів виглядала приблизно так: близько 45 % – медичні та гуманітарні вантажі (ліки, обладнання), близько 30 % – військово-логістичні поставки (запчастини, спецобладнання), 15 % – експрес доставка (товари е commerce), і приблизно 10 % – експортні та промислові вантажі.

Однак авіаційна логістика зараз стикається з низкою викликів: зростанням вартості авіаційного палива, нестабільністю митних і регуляторних процедур, дефіцитом персоналу у логістичних компаніях, підвищенням логістичних витрат, а також неготовністю внутрішньої аеропортової інфраструктури до швидкого відновлення цивільних перевезень.

Водночас з'явилися і нові тенденції, які можуть допомогти відродитися авіаційній галузі в Україні після перемоги й відновлення. Зокрема це: використання комбінованих мультимодальних маршрутів (європейські авіахаби → сухопутний або морський транспорт); поступова цифровізація логістичних процесів: онлайн бронювання, трекінг вантажів, автоматизовані складські системи, що підвищують прозорість і зменшують витрати на обробку вантажів; планування відновлення роботи аеропортових комплексів і модернізація інфраструктури аеропортів після закінчення бойових дій, що має забезпечити повернення на довоєнний рівень авіаперевезень у середньостроковій перспективі.

Отже, попри тимчасове призупинення цивільної авіації, авіаційний транспорт і логістика в Україні адаптувались до нових умов. Вантажна авіація, використання європейських хабів і мультимодальних маршрутів, поєднання з автомобільним, залізничним і морським транспортом дає змогу підтримувати міжнародні поставки, гуманітарні перевезення, імпорту експорту навіть в умовах війни. Водночас авіація залишається одним із перспективних напрямів розвитку логістики після відновлення миру, що робить її важливою складовою стратегії довгострокового відбудування транспортної мережі країни.

З огляду на зазначене, навіть за умов воєнної агресії та зовнішніх викликів, транспортна система держави зберегла здатність функціонувати, адаптуватися до нових умов, забезпечувати перевезення вантажів і підтримувати експортно-транзитні потоки. Фактичною конкурентною перевагою транспортної галузі України залишається інтегрована мультимодальна логістика – поєднання автомобільних, залізничних і (де можливо) річково-морських маршрутів. Це підтверджує, що країна залишається важливою логістичною артерією між Європою, Азією та Чорноморським регіоном, хоч і за нових, значно складніших, у порівнянні із довоєнним періодом, обставин.

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РУХОМОГО СКЛАДУ ПІДПРИЄМСТВА

Богуславський Д.С., аспірант, Никитин О.О., магістрант, Андрієнко Я. Д., магістрант
Науковий керівник: к.т.н., доц. С.А.Разгонов

Приазовський державний технічний університет, м.Дніпро, Україна

Effective organization of transport and logistics schemes for cargo transportation is critically important for ensuring the continuity of production or trade processes and reducing logistics costs. These theses present the results of a study on finding ways to increase the efficiency of the enterprise's rolling stock and the application of cluster analysis methods to optimize transport and logistics schemes for cargo transportation. An analysis of existing clustering methods was conducted, the features of transportation of

various types of cargo were studied, and an improved transport and logistics scheme was developed based on k-means and hierarchical clustering algorithms.

Keywords: transport logistics, cargo, cluster analysis, route optimization, k-means, logistics system.

Ефективне управління логістикою та транспортуванням є одним із ключових чинників досягнення конкурентної переваги в сучасному бізнес-середовищі, адже саме від організації ланцюга поставок залежить швидкість, якість та економічність виконання замовлень.

Підвищення ефективності транспортної та логістичної діяльності підприємства базується на комплексному підході, що охоплює оптимізацію процесів, впровадження сучасних технологій, якісне управління автопарком та роботу з персоналом і партнерами. Оптимізація ланцюгів поставок спрямована на усунення вузьких місць і підвищення загальної продуктивності, а вибір оптимального виду транспорту, включаючи мультимодальні перевезення, дозволяє досягти балансу між ціною та термінами. Впровадження сучасних технологій, таких як системи керування транспортом, GPS-моніторинг і аналіз даних, забезпечує автоматизацію процесів, контроль виконання завдань і прийняття обґрунтованих управлінських рішень.

Для підвищення ефективності транспорту на підприємстві необхідно оптимізувати маршрути та завантаження транспорту, впроваджувати сучасні технології, покращувати управління процесами та навчати персонал. Ключові заходи включають використання програмного забезпечення для планування маршрутів та контролю, впровадження системи обліку транспортних засобів, автоматизацію рутини та створення чітких регламентів роботи. Оптимізація маршрутів доставки передбачає інтеграцію даних про дорожню ситуацію, погодні умови та геолокацію точок призначення для побудови найбільш ефективних шляхів переміщення.

Використання актуальної інформації про затори, ремонтні роботи, аварії та погодні зміни дозволяє адаптувати маршрути в реальному часі, зменшуючи витрати пального, час у дорозі та ризики затримок.

Прозорість процесів, інформування клієнтів про статус доставки на кожному етапі, надійна система комунікації з підтвердженнями, номерами відстеження та контактними даними створюють довіру та зміцнюють відносини. Такий комплексний підхід до управління транспортом і логістикою дозволяє не лише знизити витрати, але й забезпечити стабільність, підвищити якість обслуговування та зміцнити конкурентні позиції підприємства на ринку.

Використання контролю пробігу та місто знаходження транспортних засобів за допомогою GPS навігації в транспортних підприємствах, що працюють у віддалених районах, а також контроль за витратами палива та уникати його нецільового використання (крадіжок), здійснюється на базі рішень з встановленням GPS-трекерів і датчиків рівня палива. Це дозволяє відстежувати точний маршрут (чи не відхилився транспорт), реальні мотогодини та фактичні витрати палива, що унеможливорює зловживання і є прикладом покращення обліку.

Ще одним напрямком підвищення ефективності є удосконалення транспортно-логістичної схеми перевезень вантажів на основі застосування методів кластерного аналізу для групування споживачів за географічним розташуванням, обсягами та структурою попиту, а також оцінка ефективності запропонованих рішень.

Для проведення кластерного аналізу використовувалися наступні методи:

1. Алгоритм k-means для розбиття споживачів на групи за географічним розташуванням та обсягами замовлень.
2. Ієрархічна кластеризація (метод Варда) для визначення оптимальної кількості кластерів та аналізу структури даних.
3. Алгоритм DBSCAN для виявлення аномальних об'єктів та щільних областей споживання.

Для кожного споживача формується вектор ознак, що включав: координати розташування (х, у), середній щомісячний обсяг замовлень (тонн), кількість найменувань вантажів, частоту замовлень, сезонність попиту та пріоритетність доставки. Дані нормалізуються методом min-max нормалізації для забезпечення коректного обчислення відстаней.

Аналіз номенклатури та обсягів перевезень виявив значну неоднорідність попиту на перевезення вантажів. Складність планування через нерівномірність попиту. Сезонні коливання можуть досягати 40-60%, з піком у весняно-літній період. Контроль та облік є запорукою прозорості. Ефективність неможлива без точного обліку та моніторингу роботи автопарку. Перехресна перевірка даних (GPS, маршрутні листи, датчики) допомагає виявляти та запобігати зловживанням і зайвим втратам. Людський фактор залишається вирішальним. Успіх технологій та процесів залежить від людей. Тому необхідно навчати персонал (водіїв та логістів) роботі з новим програмним забезпеченням та обладнанням. Чітко ставити завдання та визначати зони відповідальності. Впроваджувати прозору систему мотивації (KPI, бонуси), яка стимулює відповідальне ставлення, дисципліну та економію ресурсів.

Література

1. Таценко О.В. Шляхи підвищення ефективності використання транспортних засобів в транспортних технологіях для аграрного виробництва на основі їх експлуатаційних властивостей. Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали III Міжн. науково-практ. інтернет-конф. (01-26 листопада 2021; м. Мелітополь) / О.В. Таценко. – Мелітополь: ТДАТУ, 2021.
2. Крикавський Є.В. Логістичне управління: Підручник. Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2021. 684 с.
3. Окландер М.А., Чукурна О.П. Логістична система підприємства: Монографія. Одеса: Астропринт, 2020. 312 с.
4. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. Cluster analysis in logistics network design. 2023. Vol. 178. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2023.103251>

ІНТЕГРАЦІЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ЗАЛІЗНИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Василишин А. В. студентка УЗ-11 кафедри транспортних технологій
Науковий керівник: Лесів Ю. З. асистент кафедри транспортних технологій
Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

The paper examines the use of artificial intelligence in the railway industry to optimize train schedules, car allocation, and overall transportation efficiency. AI allows for faster response to technical failures, predicts potential problems, and helps prevent dangerous situations. It also supports infrastructure monitoring, track defect detection, and more efficient use of rolling stock under both normal and martial law conditions. Implementing AI increases safety, reduces costs, and improves the organization of railway operations.

Інтеграція штучного інтелекту (ШІ) у залізничну інфраструктуру є ключовим етапом модернізації транспортної галузі. Проте, як зазначають українські дослідники впровадження є необхідною умовою для оптимізації логістичних процесів та підвищення рівня безпеки руху [1]. Актуальність дослідження зумовлено необхідністю адаптувати транспортні системи до кризових умов, зокрема воєнного стану. Метою роботи є аналіз можливостей використання алгоритмів ШІ для вирішення проблем: від управління рухом до моніторингу технічного стану рухомого складу.

Вивчення світового досвіду свідчить про глибоку інтеграцію ШІ в роботу залізниць країн ЄС та Азії. Згідно зі звітом Міжнародного союзу залізниць [2], такі системи вже успішно керують високошвидкісним рухом та автоматизованим ремонтом, що дозволило

знижити операційні витрати провідних операторів на 15–20%. Для України цей досвід є суттєвий у контексті євроінтеграції та технічної синхронізації з європейськими транспортними коридорами [1].

Аналіз сучасних підходів до обробки великих даних (Big Data) [3] показує, що першочерговим є оптимізація логістики. Використання штучного інтелекту дозволяє будувати гнучкі графіки та оптимальні маршрути в реальному часі. У разі виникнення несправності на колії система здатна автоматично прокласти об'їзний маршрут, що мінімізує затримки та дозволяє більш організовано доставляти вантажі. На основі міжнародного досвіду [2], на сортувальних станціях ефективно використовувати алгоритми машинного навчання для оптимізації розподілу вагонів, що знижує ризик помилкового спрямування вантажів. Комп'ютерне моделювання процесу навантаження, зокрема розташування контейнерів без необхідності їх повторного переміщення, значно пришвидшує обробку вантажів та розраховує раціональне розміщення вагонів.

Вимагає особливої уваги застосування інтелектуальних систем в умовах воєнного стану. ШІ стає критично важливим інструментом для ефективного розподілу вцілілого рухомого складу, направлення ремонтних бригад та палива на стратегічно важливі ділянки. Перспективним є створення "випадкових" маршрутів для перевезення військової техніки та гуманітарних вантажів з метою маскування транспортування. Також алгоритми здатні забезпечити пріоритетний проїзд для спеціалізованих медичних поїздів шляхом автоматичного перенаправлення інших потягів без створення аварійних ситуацій.

Згідно з результатами досліджень експлуатації рухомого складу [4], значний потенціал розумні технології мають у сфері моніторингу інфраструктури та прогнозуючої діагностики. Впровадження систем комп'ютерного зору дозволяє зменшити вплив людського фактору: виявляти перешкоди на коліях, попереджати машиніста про небезпеку, а також діагностувати мікротріщини та розриви, прогнозуючи необхідність ремонту. Окрім того, як зазначається у [1], система здатна аналізувати завантаженість інфраструктури, виявляти ділянки, що фактично не експлуатуються, та надавати рекомендації щодо швидкісного режиму.

Важливим аспектом є також економічна безпека. Системи на базі ШІ здатні контролювати витрати палива, порівнюючи показники роботи двигуна в нормальному режимі з реальними витратами, що дозволяє миттєво виявляти аномальні витрати та запобігати крадіжкам [2].

Узагальнюючи опрацьовані джерела, можна зробити висновок що, впровадження розглянутих технологій дозволить побудувати гнучку та стійку транспортну систему, здатну ефективно функціонувати як у мирний час, так і в умовах підвищених ризиків.

Література

1. Сиченко В. Г., Косарєв Є. М. Перспективи впровадження інтелектуальних транспортних систем на залізницях України. Наука та прогрес транспорту. 2019. № 2 (80). С. 7–19.
2. Artificial Intelligence in the Railway Sector: State of the Art and Use Cases. Paris: International Union of Railways (UIC), 2020. 64 p.
3. Ghofrani F., He Q., Goverde R. M., Nunez A. Recent applications of big data analytics in railway transportation systems: A review. Transportation Research Part C: Emerging Technologies. 2018. Vol. 90. P. 226–246.
4. Блощинський І. Г., Осієвський С. В. Впровадження систем штучного інтелекту для діагностування технічного стану рухомого складу. Залізничний транспорт України. 2021. № 4. С. 32–38.

СУЧАСНІ КОНЦЕПЦІЇ ТА ПРАКТИКИ ОРГАНІЗАЦІЇ ЗМІШАНИХ МІЖНАРОДНИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Столяренко Т. В., аспірант

Науковий керівник: Лаврухін О. В., д.т.н., проф.

Національний транспортний університет, м.Київ, Україна

The study examines modern approaches to organizing mixed international freight transportation using intermodal and multimodal technologies. It analyzes the advantages of combining different transport modes, the role of intermodal terminals, and digital solutions in improving logistics efficiency. Global best practices are presented, along with opportunities for their adaptation to the development of Ukraine's transport system.

Сучасні міжнародні вантажні потоки зростають, висувуючи підвищені вимоги до швидкості доставки та безперервності логістичних ланцюгів. Традиційні одновидові транспортні схеми дедалі частіше виявляються неефективними через обмеження окремих видів транспорту, нерівномірність інфраструктурного навантаження, затримки на кордонах і потребу в зниженні логістичних витрат. У таких умовах зростає значення інтермодальних і мультимодальних технологій, що поєднують різні види транспорту в єдину логістичну систему. Водночас їх впровадження ускладнюється нестачею інтермодальних терміналів, відсутністю стандартизованого інформаційного обміну, недостатньою координацією між перевізниками та розбіжністю національних практик із міжнародними стандартами. Це визначає актуальність дослідження сучасних моделей змішаних перевезень та ефективних світових практик їх організації.

У змішаних міжнародних вантажних перевезеннях ключову роль відіграє інтеграція різних видів транспорту, що дозволяє раціонально використовувати їх переваги та мінімізувати недоліки. Залізничний транспорт забезпечує високу пропускну здатність і енергоефективність на великих відстанях, морський – найбільшу економічність при великих обсягах вантажу, автомобільний забезпечує гнучкість та «остання миля», а авіаційний дозволяє швидко доставляти високовартісні або термінові вантажі. Однак без єдиного організаційного та технологічного підходу така комбінованість може втрачати ефективність через затримки на стику різних видів транспорту, відсутність узгоджених графіків та несумісність інформаційних систем.

У роботі детально розглянуто моделі організації змішаних міжнародних перевезень. Інтермодальна модель базується на транспортуванні вантажу в стандартній транспортній одиниці, наприклад у контейнері, трейлері або знімному кузові, що дозволяє виключити операції прямого перевантаження товарів. Це зменшує пошкодження вантажу, скорочує час простою і забезпечує точність логістичних операцій. Мультимодальна модель передбачає наявність одного оператора, який бере на себе юридичну та логістичну відповідальність за весь маршрут. Такий підхід широко використовується в Європейському Союзі та Південно-Східній Азії, де логістичні оператори пропонують комплексний сервіс «єдиного договору», що спрощує взаємодію між усіма учасниками транспортного процесу.

Детально проаналізовано інфраструктурні елементи, що забезпечують функціонування змішаних перевезень. Інтермодальні термінали виконують функції обробки контейнерів, перевантаження рухомих одиниць, накопичення вантажів та митного обслуговування. Сухі порти формують внутрішньоконтинентальні логістичні вузли, які дозволяють поєднувати залізничний, автомобільний і морський транспорт у єдиному операційному циклі. У країнах ЄС, Туреччині, Китаї та США розвиток таких вузлів став основою для формування високопродуктивних міжнародних коридорів – TEN-T, TRACECA, China–Europe Railway та ін. Саме ці коридори демонструють, як укрупнені логістичні потоки, стандартизовані процедури та цифрові сервіси здатні радикально скоротити час і вартість доставки вантажів.

Цифровізація є одним із ключових аспектів сучасних змішаних перевезень. Використання систем EDI, електронних коносаментів, GPS- та AIS-моніторингу, блокчейн-реєстрів для підтвердження безперервності ланцюга постачання дозволяє підвищити прозорість та довіру між учасниками логістичного процесу. Завдяки цифровим платформам оператори мають можливість у режимі реального часу управляти завантаженням терміналів, оптимізувати маршрути, прогнозувати затримки та адаптувати графіки транспорту. Важливе значення мають єдині цифрові екосистеми, які забезпечують узгоджений документообіг між портами, залізницями, транспортними компаніями та митними органами. Саме такі практики впроваджуються у країнах ЄС і вже довели свою ефективність, скорочуючи час оформлення вантажів на 30–60%.

Проаналізовані світові практики також показують, що інтермодальні та мультимодальні перевезення сприяють зменшенню викидів CO₂ завдяки оптимальному розподілу транспортного навантаження та збільшенню частки екологічно чистіших видів транспорту, насамперед залізничного та водного. Країни, які активно розвивають та інтегрують змішані транспортні технології, отримують конкурентні переваги у сфері міжнародної торгівлі, покращують інвестиційний клімат та забезпечують стійкість своїх логістичних систем навіть за умов глобальних збурень.

Для України розвиток змішаних перевезень є особливо важливим у контексті післявоєнної відбудови транспортної інфраструктури, інтеграції до мережі TEN-T та відновлення ролі країни як транзитного логістичного вузла між Європою та Азією. Упровадження сучасних інтермодальних технологій у поєднанні з цифровою логістикою дозволить скоротити операційні витрати, підвищити швидкість доставки, розширити участь українських операторів у глобальних ланцюгах постачання та забезпечити стійкий економічний розвиток.

Таким чином, аналіз світових моделей змішаних вантажних перевезень свідчить, що інтеграція різних видів транспорту, розвиток інтермодальної інфраструктури та цифрових рішень є ключовими умовами ефективності сучасної логістики. Для України ці підходи створюють можливості підвищення конкурентоспроможності, розширення участі у міжнародних транспортних коридорах та формування стійкої транспортної системи в умовах глобальних викликів.

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО АНАЛІЗУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ РОБОТИ МІСЬКОГО ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ НА ОСНОВІ ЧАСОВИХ РЯДІВ ТА ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Ковалишин В. В., Федунь Т. І.

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

The paper examines modern scientific approaches to analysing and forecasting the performance of urban public transport using time series, GPS/AVL data and simulation modelling. Based on the synthesis of findings presented in international research publications and applied studies conducted on real data from the city of Lviv, the key factors influencing travel time variability and service irregularity are identified. The study reviews STL decomposition methods, short-term forecasting techniques, machine learning algorithms including artificial neural networks, as well as approaches based on large-scale GPS datasets. The advantages of integrating simulation models with time-series analysis are substantiated, particularly for improving prediction accuracy and evaluating the effects of network changes on public transport operations. The results confirm the effectiveness of comprehensive modelling frameworks for optimising urban transport services and enhancing their resilience to stochastic traffic conditions.

Ефективність міського громадського транспорту визначається комплексом параметрів, що характеризують регулярність, стабільність та передбачуваність руху.

Сучасні дослідження [1; 5; 7] засвідчують, що в умовах зростання навантаженості вулично-дорожньої мережі та посилення змішаного трафіку класичні методи аналізу більше не забезпечують потрібної точності. Це ускладнює планування маршрутної мережі, диспетчеризацію та прийняття оперативних рішень. Таким чином, зростає потреба у методах, здатних відтворювати реальну динаміку транспортних процесів з урахуванням стохастичності середовища, багатофакторних впливів та значних просторово-часових коливань.

У роботах, присвячених оцінюванню пунктуальності та регулярності руху автобусів [7], детально розглянуто механізми формування затримок і їхній вплив на стабільність міської транспортної логістики. Встановлено, що варіабельність тривалості поїздки зумовлюють три групи чинників: умови дорожнього руху, параметри організації маршрутної мережі та поведінкові характеристики водіїв і пасажирів. Методологія аналізу часових рядів із використанням STL-декомпозиції, описана у [1], дає змогу виокремлювати сезонні й трендові компоненти, що формують регулярні цикли міської мобільності, та відмежовувати їх від випадкових флуктуацій, зумовлених мікрозатримками чи маневрами суміжних потоків.

Важливим напрямом досліджень стали роботи, виконані на прикладі реальних умов Львова [6]. У них показано, що для українських міст характерні висока нерівномірність руху, значна щільність забудови, велика частка приватного автотранспорту та численні перехрестя зі змінною пропускною спроможністю. У роботі [6] доведено залежність між інтенсивністю транспортного потоку, середнім часом затримки на зупинках, щільністю вуличної мережі та амплітудою коливань тривалості поїздки. Це підтверджує доцільність застосування моделей, здатних адаптуватися до локальних особливостей маршрутного середовища.

Особливе місце у сучасних дослідженнях займають підходи, що базуються на аналізі GPS/AVL-даних [5]. Такі технології забезпечують можливість високодетального моніторингу руху у реальному часі та відтворення просторово-часової структури транспортних процесів. У [5] узагальнено основні типи моделей прогнозування часу прибуття та сформовано класифікацію чинників, які визначають точність передбачень. Автори наголошують на необхідності попереднього очищення даних: видалення шумів, корекції GPS-сплесків, синхронізації часових міток та коректної прив'язки траєкторій руху до вуличної мережі. Саме якість цих етапів значною мірою визначає результативність побудови прогнозних моделей.

Застосування методів машинного навчання, зокрема штучних нейронних мереж, є одним із найперспективніших напрямів прогнозування часу поїздки. У роботі [3] продемонстровано ефективність ANN у врахуванні нелінійних взаємозв'язків між параметрами руху: коливанням швидкості, затримками на зупинках, зміною режимів руху протягом доби та різними схемами організації руху. Дослідження [4] порівнює ANN із моделями ARIMA, SVR та k-NN, показуючи, що штучні нейронні мережі забезпечують вищу точність короткострокового прогнозування, особливо для маршрутів зі значною густиною перехресть та змішаним потоком.

Важливим доповненням до методів прогнозування є імітаційне моделювання транспортних потоків. У дослідженнях [1; 2] показано, що симуляції дозволяють відтворювати реальну поведінку транспорту на мікрорівні та оцінювати вплив змін в організації руху – коригування світлофорних планів, пріоритезації для громадського транспорту, проектування нових смуг руху. Поєднання імітаційних моделей із аналізом часових рядів, згідно з узагальненнями [2; 4], відкриває можливість не лише аналізувати поточний стан, але й формувати достовірні прогнози щодо наслідків упровадження нових транспортних заходів.

Комплексний аналіз наявних джерел дозволяє стверджувати, що подальший розвиток моделей для аналізу роботи громадського транспорту полягає в інтеграції різних типів даних, синхронізації GPS-спостережень із структурними характеристиками мережі, застосуванні високоточних методів машинного навчання та активному використанні

імітаційного моделювання. Такий підхід створює підґрунтя для формування сучасних систем підтримки управлінських рішень, оптимізації маршрутних мереж та підвищення стійкості міських перевезень до стохастичних змін.

Список використаної літератури

1. Cats, O., Loutos, G. Travel time reliability in urban networks: A review. *Transportation Research Procedia*, 2016, Vol. 22, pp. 166–177. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.03.021>
2. Hounsell, N., Shrestha, B. Enhancing the operation of urban bus services using automatic vehicle location data: A review of the literature. *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, 2015, Vol. 5(4), pp. 349–365.
3. Chien, S., Ding, Y., Wei, C. Dynamic bus arrival time prediction using artificial neural networks. *Transportation Research Record*, 2002, Vol. 1666, pp. 57–64.
4. Moreira-Matias, L., Gama, J., Ferreira, M., Mendes-Moreira, J., Dourado, A. Predicting taxi-passenger flows using online learning models. *Transportation Research Procedia*, 2017, pp. 1–10.
5. Iglesias, R., Rossi, R., Gastaldi, M., Marinelli, M. Advanced public transport arrival time prediction using AVL data: A literature survey. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2015, Vol. 16(4), pp. 1675–1687.
6. Zhuk, Y., Hilevych, Y., Kovalyshyn, V., Pivtorak, K. Analysis of travel time variability in mixed traffic conditions of Lviv. *Scopus-indexed manuscript (дані міста Львова, машинопис, 2020)*, 14 с.
7. Cats, O., Larijani, A., Koutsopoulos, H., Burghout, W. Detecting irregularities in public transport operations using AVL data. *Mathematics in Transport – ITS*, 2015, pp. 97–112.
8. Pecchini, N., Fusco, G., Colombaroni, C. Short-term bus travel time prediction in urban networks using real-time GPS data. *TIS – Transport Infrastructure and Systems. Proceedings of the 2019 Rome Conference*, 2019, pp. 542–549.

МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ ХОЛОДОВИХ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ ДЛЯ ЕКСПОРТУ УКРАЇНСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ

Миронюк І. І., аспірант

Науковий керівник: Васілова Г. С., к.т.н., доц.

Національний транспортний університет, м.Київ, Україна

The paper examines modern approaches to modeling cold supply chains in railway transport to ensure the preservation of Ukrainian export products. Methods for modeling logistics processes and temperature conditions, digital monitoring technologies, and risk assessment tools are analyzed. The results show that integrating digital solutions and optimization models enhances the reliability of the cold chain and reduces product losses during transportation.

Моделювання холодних логістичних ланцюгів у залізничному транспорті є важливим елементом забезпечення збереження української експортної продукції, яка має обмежений температурний режим. Залізничний транспорт, як основний засіб перевезення масових експортних партій, стикається з низкою специфічних викликів: протяжністю маршрутів, тривалими стоянками на станціях, очікуванням на прикордонних переходах, змінами кліматичних зон та складністю контролю температури у великих транспортних одиницях.

У сучасних дослідженнях використовуються різні підходи до моделювання логістичних процесів із підтриманням температури саме у залізничних умовах. Детерміністичні моделі застосовуються для опису стабільного руху поїзда за фіксованими графіками, коли температурні коливання мінімальні, а умови руху прогнозовані. Такі моделі дозволяють визначити оптимальні маршрути та час доставки у випадках, коли інфраструктурні затримки незначні.

Для реальних залізничних перевезень більш придатними є стохастичні моделі, які враховують випадкові затримки на станціях, черги на підходах до портів, збої у роботі рефрижераторних установок, варіації температури у контейнерних поїздах при зміні зовнішніх кліматичних умов. Це дає змогу оцінити ймовірність втрати «холодового ланцюга» та визначити найбільш ризикові ділянки маршруту.

Імітаційне моделювання широко застосовується для цифрового відтворення руху рефрижераторного поїзда або контейнерного потяга, що перевозить продукти харчування, фармацевтичну продукцію чи іншу продукцію, що швидко псується. За допомогою цифрового експерименту відтворюється тепловий режим контейнера, вплив тривалих стоянок під прямим сонячним промінням, теплові удари під час обробки на терміналах, вплив затримок на кордоні, зміна температури під час переміщення між різними кліматичними зонами.

Мережеві моделі використовуються для опису інфраструктурних зв'язків: залізничних терміналів, перевантажувальних вузлів, портів, з'єднань із автомобільним транспортом та місць накопичення рефрижераторних контейнерів. Моделі дозволяють визначити оптимальні схеми проходження вантажопотоків, мінімізувати час перевалки та зменшити тепловтрати під час переміщення вантажу між видами транспорту.

У залізничних перевезеннях особливого значення набуває моделювання температурних процесів усередині транспортних засобів. Розглядаються теплові моделі рефрижераторних секцій і контейнерів, що враховують теплопередачу через кузов, зміну температури повітря на відкритій колії, нагрівання під впливом сонця та охолодження при русі по тунелях або в холодну пору року. Аналізується вплив відкривання дверей під час огляду на митному контролі або перевантаження, моделюються сценарії збоїв у роботі холодильних установок, що особливо критично для довгих маршрутів через кілька станцій стикування.

Сучасні цифрові технології суттєво вдосконалюють процес моделювання холододових залізничних ланцюгів. IoT-сенсори, встановлені в рефрижераторних контейнерах, забезпечують постійний контроль температури, вологості, тиску та вібрацій; дані передаються на центральні сервери залізниці або логістичних операторів. GPS- і GSM-моніторинг дозволяють контролювати місцеперебування поїзда, швидкість руху та час простою. Блокчейн-технології використовуються для створення електронного «температурного журналу», що забезпечує беззаперечний доказ дотримання умов транспортування на всіх етапах маршруту.

На основі Big Data створюються прогностичні моделі, які дозволяють врахувати багаторічну інформацію про затримки, сезонні коливання клімату, типи холодильного обладнання та поведінку різних вантажів. Використання таких даних значно підвищує точність прогнозування ризиків.

Оптимізаційні моделі для залізничних холододових ланцюгів застосовуються для вибору найкращого маршруту з урахуванням доступності інфраструктури, розміщення холодильних складів, графіків роботи терміналів та мінімізації теплових втрат. Ці моделі дозволяють оцінити ефективність різних сценаріїв, визначити потребу в додаткових охолоджувальних потужностях або зміні типу транспортної тари.

Окремим напрямом є оцінка ризиків у холододових ланцюгах залізничного транспорту. Аналізуються ситуації, пов'язані з відмовою холодильного агрегату, тривалими простоєм на стику з іншими видами транспорту, змінами погоди або порушенням герметичності контейнера. Моделі ризиків дозволяють завчасно виявляти потенційно небезпечні ділянки логістичного маршруту та розробляти превентивні заходи, спрямовані на гарантування безпеки української експортної продукції.

Таким чином, забезпечення надійності холододових логістичних ланцюгів у залізничних перевезеннях української експортної продукції потребує впровадження сучасних моделей прогнозування та цифрових технологій моніторингу. Комплексний підхід, що поєднує моделювання температурних процесів, оцінку ризиків і оптимізацію маршрутів, дає змогу істотно зменшити ймовірність порушення температурного режиму.

Отримані результати підтверджують доцільність цифрової трансформації залізничної логістики з використанням IoT-сенсорів, цифрових двійників та аналітики великих даних. Реалізація таких рішень підвищить якість перевезень, зменшить втрати продукції та зміцнить конкурентоспроможність українського експорту.

СУЧАСНІ МЕТОДИ ОРГАНІЗАЦІЇ РУХУ ПОЇЗДІВ У СКЛАДНИХ ІНФРАСТРУКТУРНИХ УМОВАХ

Літош І. О., аспірант

Науковий керівник: Васілова Г. С., к.т.н., доц.

Національний транспортний університет, м.Київ, Україна

The paper examines modern approaches to organizing train operations under complex infrastructural conditions arising during track reconstruction, station modernization and temporary capacity restrictions. The study analyzes the capabilities of adaptive timetable planning, simulation modeling, digital twins and intelligent decision-support systems. It is shown that the use of these technologies helps minimize delays, improve the stability of transport processes and ensure effective coordination of train movements in dynamically changing conditions. The results form a basis for implementing advanced management methods in practical railway operations.

Складні інфраструктурні умови, що виникають під час реконструкції міських транспортних вузлів, модернізації залізничних колій, оновлення стрілочних переводів або часткового обмеження пропускної спроможності, істотно ускладнюють організацію руху поїздів. У таких ситуаціях традиційні графіки та методи диспетчерського управління не забезпечують необхідної гнучкості, оперативності та стійкості транспортного процесу. Виникають затримки, конфлікти маршрутів, нерівномірне використання інфраструктури та загрози для безпеки руху. Водночас залишається недостатньо дослідженим питання застосування адаптивних, цифрових та інтелектуальних методів управління, які могли б забезпечити ефективну координацію поїздів у змінних умовах та мінімізувати наслідки інфраструктурних обмежень. Саме необхідність створення сучасних моделей і технологій організації руху поїздів у таких умовах і становить сутність проблеми дослідження.

Сучасні умови функціонування залізничного транспорту характеризуються зростанням інтенсивності руху, впливом реконструкційно-будівельних робіт, тимчасовими обмеженнями інфраструктури та підвищеними вимогами до безпеки перевезень. У таких умовах традиційні підходи до організації поїзного руху часто виявляються недостатньо гнучкими, що призводить до зниження пропускної та переробної спроможності залізничних вузлів. Це зумовлює актуальність застосування сучасних методів управління рухом, які дозволяють забезпечити стабільність роботи транспортної мережі навіть за наявності істотних інфраструктурних обмежень.

Одним із ключових напрямів є адаптивне планування графіка руху, що передбачає автоматизоване коригування поїзних розкладів у режимі реального часу з урахуванням змін технічного стану колії, тимчасових обмежень швидкості та наявності ремонтних робіт. Такі системи використовують математичні моделі оптимізації, що дозволяють мінімізувати затримки, збалансувати навантаження на перегонах і забезпечити пріоритетність певних категорій поїздів.

Важливе значення має застосування імітаційного моделювання, яке дає можливість досліджувати роботу залізничного вузла під час реконструкції без втручання у реальний рух. За його допомогою можна визначити критичні ділянки інфраструктури, оцінити вплив блокування окремих колій, протестувати альтернативні варіанти маршрутів та оцінити потенційні затримки під впливом зовнішніх факторів. Імітаційні моделі також дозволяють прогнозувати зміни пропускної спроможності та визначати оптимальні режими організації руху.

Значного поширення набули інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень, що базуються на алгоритмах штучного інтелекту та машинного навчання. Вони аналізують великі масиви даних, включно з інформацією про трафік, стан інфраструктури, погодні умови та аварійні ситуації. На основі цього формуються рекомендації щодо вибору оптимального маршруту, регулювання інтервалів між поїздами, розподілу рухомих одиниць та зменшення ризику затримок. Такі системи підвищують оперативність реагування чергового персоналу та забезпечують стабільність роботи в умовах невизначеності.

Важливим напрямом є впровадження цифрових двійників залізничної інфраструктури, які дозволяють відтворювати фізичні процеси функціонування мережі у цифровому середовищі. Це дає можливість моделювати сценарії реконструкційних робіт, оцінювати вплив змін на рух поїздів, прогнозувати можливі конфліктні ситуації та завчасно формувати оптимізовані графіки. Цифровий двійник також забезпечує аналіз стану колій та стрілочних переводів для своєчасного введення тимчасових обмежень.

Одним із перспективних інструментів є мережеве моделювання, яке враховує складну структуру залізничних вузлів і взаємодію між ними. Це моделювання дозволяє оцінювати маршрути, черговість пропуску поїздів, переробну спроможність станцій, можливості для розосередження трафіку та формування альтернативних схем руху під час реконструкційних робіт або аварійних відключень.

Застосування систем автоматизованого диспетчерського управління нового покоління забезпечує інтеграцію багатьох функцій: моніторингу стану інфраструктури, управління сигналізацією, прогнозування трафіку та оперативного коригування планів. Такі системи формують більш точне та стабільне управління рухом, підвищують безпеку та значно знижують ризики людських помилок.

Таким чином, сучасні методи організації руху поїздів у складних інфраструктурних умовах ґрунтуються на інтеграції адаптивних алгоритмів планування, цифрового моделювання, інтелектуального аналізу даних і комплексної автоматизації диспетчерських процесів. Їх впровадження дозволяє підвищити пропускну спроможність мережі, мінімізувати затримки, забезпечити стабільність роботи залізничних вузлів та сформувати надійні механізми управління рухом під час реконструкцій і модернізацій транспортної інфраструктури.

ВПЛИВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ РУХОМ НА ЗМЕНШЕННЯ ТОКСИЧНИХ ВИКИДІВ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

Грищенко А. В., аспірант

Науковий керівник: Торопов Б. І., к.т.н., доц.

Національний транспортний університет, м.Київ, Україна

The study examines the impact of intelligent train traffic management systems on reducing toxic emissions produced by diesel traction. The analysis includes adaptive timetable adjustment, optimization of train driving modes, automated dispatching, and the use of digital twins for traffic scenario modeling. The findings demonstrate that implementing intelligent control systems reduces idle time, minimizes inefficient operating modes, optimizes fuel consumption, and significantly improves the environmental performance of railway transport.

Проблематика зменшення токсичних викидів залізничного транспорту є однією з ключових у контексті забезпечення екологічної безпеки та модернізації транспортної інфраструктури. Особливої ваги вона набуває на ділянках, де основним видом тяги є тепловозна, адже робота дизельних двигунів супроводжується утворенням значних обсягів оксидів азоту, чадного газу, твердих частинок та інших токсичних компонентів. Негативний вплив зростає через так звані нераціональні режими роботи тепловозів —

тривалий холостий хід, часті вимушені зупинки, непередбачувані розгони та нестабільність швидкісного профілю. Ці режими характерні саме для систем, де управління рухом здійснюється без урахування динамічної інформації та сучасних засобів автоматизації.

У дослідженні було проаналізовано сучасні підходи до інтелектуального управління рухом поїздів, здатні надати реальний інструментарій для скорочення кількості токсичних викидів шляхом зменшення неефективних режимів роботи тягових установок. Основну увагу зосереджено на тих методах, що дозволяють інтегрувати дані в режимі реального часу зі станційних та перегінних пристроїв, а також на алгоритмах, які забезпечують оптимізацію графіка руху та диспетчерських рішень.

Першим напрямом дослідження стали інтелектуальні методи коригування графіка руху. Для цього використовувалися моделі прогнозування зайнятості перегонів, які здатні оцінювати майбутній стан ділянки з урахуванням поточного положення поїздів, особливостей пропускної здатності та статистичних характеристик затримок. Застосування таких моделей дозволяє усунути ситуації, коли поїзд вимушено зупиняється перед вхідним світлофором через неузгоджену роботу системи управління. У результаті кількість випадків холостого ходу була зменшена, що сприяє суттєвому скороченню викидів дизельного палива.

Другим проаналізованим підходом стала оптимізація режимів ведення поїзда. Використання математичних моделей, що враховують профіль колії, масу складу, характеристики локомотива та обмеження швидкостей, дало змогу сформувати енергоощадні траєкторії руху. Порівняння реальних режимів з оптимізованими підтвердило, що плавність руху, зменшення кількості інтенсивних розгонів та використання природного скочування на ухилах зменшують витрати палива та відповідно токсичні викиди. Зниження пікових навантажень двигуна також позитивно впливає на технічний стан тягової установки та зменшує кількість незгорілих компонентів у вихлопних газах.

Третій напрям роботи стосувався інтелектуальних диспетчерських рішень. Це алгоритми, які дозволяють автоматично оцінювати стан залізничної мережі, передбачати утворення заторів на станційних підходах і в реальному часі пропонувати оптимальні рішення для перенаправлення потоків або зміни порядку пропуску поїздів. У ході дослідження виявлено, що автоматизація диспетчерського керування дозволяє скоротити середню тривалість простоїв тепловозів у зоні маневрових робіт та на підходах до станцій, що є одним із найважливіших факторів зменшення токсичних викидів. У режимі очікування дизельний двигун споживає значну кількість палива, тому зменшення часу простою навіть на кілька хвилин для великих транспортних вузлів дає вагомий сумарний екологічний ефект.

Окреме місце в роботі посіло застосування цифрових двійників залізничних ділянок. Цифровий двійник дозволив моделювати вплив різних варіантів управління рухом на формування викидів, виявляти критичні ділянки, де нераціональні режими повторюються циклічно, а також оцінювати довгостроковий екологічний ефект від модернізації графічних та диспетчерських рішень. Моделювання підтвердило, що навіть часткове впровадження інтелектуальних систем може забезпечити зменшення токсичних викидів на 8–15 %, залежно від інтенсивності руху та характеристик ділянки.

Таким чином, інтелектуальні системи управління рухом поїздів є ключовим елементом екологізації залізничного транспорту. Вони забезпечують гармонійне поєднання оперативної інформації, алгоритмічної обробки даних та автоматизованих управлінських рішень, що сприяє зменшенню роботи тепловозів у неефективних режимах, скороченню витрат дизельного палива та значному зниженню утворення токсичних викидів. Впровадження таких систем формує підґрунтя для переходу залізничного транспорту до моделі сталого розвитку та відповідає сучасним вимогам екологічної безпеки держави.

Секція «Транспортна інженерія»
Section «Transport Engineering»

THE CONCEPT OF MICROFILTRATION OF HYDRAULIC OIL IN RAIL VEHICLES FOR USE IN RAILWAY INFRASTRUCTURE

MSc Eng. Sławomir Kołodziejcki, MSc Eng. Tomasz Buśkiewicz

Supervisor: PhD Eng. Wojciech Sawczuk

Auxiliary supervisor: PhD Eng. Jakub Kowalczyk

*Doctoral School of Poznan University of Technology, Faculty of Civil and Transport
Engineering, Poland*

This article discusses the issue of microfiltration of hydraulic oil to remove metallic contaminants and water, which degrade oil properties. Oil research has shown that periodic oil changes in machines or vehicles, as specified in their maintenance documentation, do not ensure 100% complete removal of old oil contaminants from the system. The authors' research on various new oils (hydraulic, engine, and transmission) has shown that the oils are out of specification and require removal, primarily of water and other small solid contaminants. The article, among other things, justifies the use of microfiltration of hydraulic oil using portable filtration devices, while also testing the oil for cleanliness class using a portable device. The article focuses on demonstrating the potential for continuous filtration of hydraulic oil using an external additional system powered by the main hydraulic circuit. Rail vehicles operating on railway tracks were selected as the subject of this research and study due to their extensive hydraulic systems, not only for vehicle propulsion but primarily for powering hydraulic actuators and motors for on-track operation. These types of vehicles have hydraulic tanks with a capacity of approximately 1000 liters, which justifies the use of additional oil filtration, which can be carried out when the vehicle is stationary using available portable devices or continuously using a built-in by-pass system.

The aim of this article is to present the concept of building external, additional hydraulic oil microfiltration systems in construction machinery mounted on rail vehicles for on-track operation, such as network trains, tamping machines, and track-laying vehicles. This paper presents an overview of current solutions for additional bypass systems for engine oil and fuel filtration in motor vehicles. Based on periodic tests of oils for contaminant and water content, the authors developed guidelines for building additional cross-flow oil separation systems operating in parallel with the primary filtration system. Based on tests on construction vehicles, it was found that additional bypass filtration systems maintained a cleanliness class of 7 according to the NAS for up to 320 hours of operation. A further 160 hours of operation resulted in an increase of one NAS class to 8. In the system without microfiltration, the cleanliness class increased linearly from 7 to 12 according to the NAS. Furthermore, it was found that the additional microfiltration system on the test stand did not significantly reduce the kinematic viscosity value after 480 hours of operation. This value decreased from 48 mm²/s to 46.5 mm²/s (a decrease of 1.5 cSt). In the case of the system without microfiltration, the kinematic viscosity decreased to 44.5 mm²/s (a decrease of 3.5 cSt). Based on tests conducted on other vehicles with hydraulic systems, it was concluded that in the case of rail vehicles with hydraulic systems, it is justified to use an additional bypass system, which will extend the service life of the hydraulic oil.

MODERN MEASUREMENT TECHNOLOGIES IN THE MAINTENANCE PROCESS OF TRAM INFRASTRUCTURE

Agata Zamorska

Supervisor: dr inż. Julian Kominowski

Poznań University of Technology, Poland

The aim of this presentation is to analyse the elementary geometric parameters of the beginning of the exploitation and, based on that, estimate the pace of infrastructure degradation, to support the diagnostic process in the maintenance system.

The safety of vehicle traffic and the amount of financial outlays depend on the correct assessment of the condition of the railroad track surface. Rail surface diagnostics is the totality of methods and means used to determine its condition. It is important to note that the process of degradation of the surface is composed of many factors such as maintenance, production, construction, and exploitation.

In Poland, trams are a key element of urban transportation, connecting various parts of cities and making it easier for residents to commute. We have sixteen tram systems adapted to the needs of residents of large metropolitan areas. We can divide them into two main types:

- standard gauge (1,435 mm) – ten network, the most developed, serving the largest number of passengers.
- narrow-gauge (1000mm) - five systems, typically characterized by less development, focusing on local routes.

The shape of the railway track in the vertical plane is evaluated using geodetic methods, most often geometric leveling or tachometric measurements. Another method is to use synthetic indicators to assess the condition of the tracks. It involves aggregating measured parameters, which allows for medium-term work planning and building prediction models.

The guidelines that apply to rapid tram routes do not specify deviations from the basic parameters of the track position, which is why the PST section in Poznań was chosen for the measurements. The research includes basic geometric parameters of the position of rail tracks, the profile of the rails and platform stops, and the ride quality. Measurements were taken using a tram, measuring equipment, sensors, and the measurement vehicle.

WHERE SPEED MEETS HEAT: THE PRECISION ENGINEERING OF FORMULA1

Eng. Oliwia Kropisz

Poznan University of Technology, Faculty of Civil and Transport Engineering

The presentation analyzes the upcoming transformation of Formula 1 regulations and technology, with a particular focus on how these changes will affect the appearance of vehicles compared to the current season. As the sport approaches the pivotal hybrid era of 2026, engineers and teams are preparing for a comprehensive change that will affect nearly every aspect of car design. At the center of this process are new rules for powertrains, sustainable energy sources, active aerodynamic systems, and a redesign of the chassis architecture to create lighter, more agile cars that can provide both efficiency and spectacle.

The main goal of the new regulations is a balanced hybrid propulsion system that will rely more on electric propulsion. The MGU-K will provide almost three times more electrical power than the current system, which will significantly change the way drivers use energy during acceleration, corner exit, and strategic race play. In combination with fully sustainable, advanced sustainable fuel blends, the modified engine represents Formula 1's most ambitious step towards reducing carbon emissions without sacrificing the extreme performance for which the sport is known. This combination of electrification and sustainable fuel introduces new engineering challenges, particularly in the areas of energy storage, battery cooling, and real-time power management. It will require teams to rethink how they achieve maximum performance in racing conditions.

Active aerodynamics will be another key element of the 2026 regulations. The cars will be equipped with adjustable wings that will dynamically respond to speed, position on the track, and driver commands. The goal of these changes is to create more overtaking opportunities during the race by reducing aerodynamic drag, while also allowing for high speeds on the straights through drag-reducing configurations. For engineers, integrating active aerodynamics introduces a new level of complexity: systems must anticipate transient airflow changes, withstand high mechanical loads, and seamlessly interact with the car's energy distribution logic. As a result, the machines will adapt to the conditions on the track.

During the presentation, technical data highlights how these changes will affect key areas of engineering, such as the speed of the car on straights and in turns, energy management, and precise control. The 2026 era is more than just a change in regulations; it's a reimagining of the technological philosophy of Formula 1. Combining efficiency, sustainability, and cutting-edge technology, this sport is constantly striving for engineering excellence, preparing for a future shaped by innovation and environmental responsibility.

INTEGRATION OF MODERN ENGINEERING TECHNOLOGIES IN THE REVITALIZATION OF A MONUMENT OF ENGINEERING ART

Ratajczyk F.

Supervisor: PhD Eng. Łukasz Rymaniak

Poznan University of Technology, Faculty of Civil and Transport Engineering, Poland

This article presents a methodology for revitalizing a historical spark-ignition engine through the integration of modern ignition technologies, while simultaneously preserving its original form as a monument of engineering art. The subject of the study is the Volkswagen Type 1 engine, one of the most recognizable air-cooled power units, widely used in automotive applications, light industry, and sport aviation. Its simple construction, modular architecture, and extensive operational history make it an ideal object for analyses related to the modernization of combustion-control systems, including ignition systems.

The modernization concept involves replacing the original mechanical Bosch distributor - equipped with both centrifugal and vacuum advance mechanisms - with the contemporary microprocessor-based 123ignition Tune+ system. The traditional breaker-point mechanism, burdened by typical limitations resulting from wear, mechanical clearances, and sensitivity to environmental conditions, is substituted with an electronic solution employing a Hall-effect sensor and digitally defined advance maps. This integration enables substantially higher precision in ignition control while maintaining full reversibility of the modification, which is crucial in the context of engineering heritage conservation.

The article provides a detailed description of the experimental procedures and the configuration of the measurement setup, which included a digital oscilloscope, a Hall sensor mounted on the crank pulley, and equipment for generating controlled manifold vacuum conditions. This enabled the analysis of the ignition system's behaviour under load states corresponding to real operating conditions, while maintaining high measurement repeatability. The experimental campaign encompassed the recording of voltage waveforms, ignition advance dynamics, and variations in engine speed.

The results revealed clear differences between the two analysed systems. The electronic 123ignition system exhibited a lower coefficient of rotational speed variability, greater cycle-to-cycle repeatability of ignition events, and a more stable secondary-voltage profile compared with the mechanical distributor. The data confirmed the electronic system's immediate response to vacuum changes and accurate reproduction of the programmed ignition-advance values. In contrast, the mechanical distributor showed noticeable delays, scatter within the advance characteristics, and instability arising from inertia and wear within the advance mechanism.

The findings demonstrate that the application of a microprocessor-controlled ignition system significantly improves combustion stability, thereby enhancing engine smoothness, operational safety, and durability. At the same time, the full reversibility of the modification ensures compliance with conservation principles governing engineering heritage, allowing the original appearance and configuration of the historical engine to be preserved.

The article further emphasizes the relevance of integrating contemporary technologies as a means of supporting the long-term operational viability of engineering heritage objects. Modernization of ignition systems using microprocessor-based control represents a rational adaptation strategy that does not compromise the cultural value of the artefact while providing

measurable technical benefits. The analysis presented herein may serve as a model for similar initiatives involving the revitalization of other historical power units.

In conclusion, the study demonstrates that revitalizing monuments of engineering art through the integration of modern technologies is not only feasible but also justified from both technical and conservation perspectives. The implementation of an electronic ignition system reconciles contemporary operational requirements with the preservation of historical identity, offering a meaningful direction for future research on adapting engineering heritage to the standards of the twenty-first century.

ВИПРОБУВАННЯ НЕСНИХ КОНСТРУКЦІЙ СПЕЦІАЛЬНОГО САМОХІДНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ З ГІДРАВЛІЧНОЮ КРАНОВО-МАНІПУЛЯТОРНОЮ УСТАНОВКОЮ ЗА МЕЖАМИ НОРМАТИВНОГО СТРОКУ СЛУЖБИ

Терещук М.П., Пашкевич Ю.Я.

Науковий керівник: Фомін О.В., доктор технічних наук.

Національний транспортний університет, м.Київ, Україна

The most important task for JSC "Ukrzaliznytsia" is to ensure traffic safety. One of the important segments affecting traffic safety is maintaining the railway infrastructure in good condition. In order to maintain the infrastructure in proper condition, the task of preserving the existing fleet of specialized self-propelled rolling stock beyond the designated service life remains relevant. Taking this into account, there is a need to conduct tests aimed at creating conditions for the operation of rolling stock while maintaining dynamic and strength characteristics. In this article, the order, volume and obtained results of strength and fatigue resistance tests on the example of a special self-propelled rolling stock of the DHKu type are given. The results of the maximum stress levels, root mean square deviation, coefficients of the fatigue resistance margin, dependence of the stress level on the speed of movement were obtained. Based on the results of the research, a technical solution was developed that allows technical diagnostics to be carried out using non-destructive testing methods in order to extend the service life of special self-propelled rolling stock.

Key words: special self-propelled rolling stock, load-bearing structures, crane-manipulator installation, testing, strength, fatigue resistance, service life.

Вступ. З метою забезпечення ремонту залізничної інфраструктури актуальною задачею є продовження строку служби та убезпечення експлуатації спеціального рухомого складу, у тому числі одиниць обладнаних краново-маніпуляторними установками. На даний час нормативне забезпечення щодо загальних підходів до продовження терміну експлуатації спеціального рухомого складу відсутнє. На залізницях України експлуатується 282 таких одиниці, які експлуатуються з понаднормовим строком служби, що встановлений заводом-виробником.

Об'єкт досліджень дрезина ДГКу № 3008, яка використовується Київською дистанцією колії (ПЧ-3) регіональної філії «Південно-Західна залізниця» АТ «Українська залізниця», з вичерпаним призначеним строком служби.

Матеріали і методи дослідження. Основні дефекти несівних металевих конструкцій автодрезин ДГКу – це тріщини, які виникають в основному металі кронштейнів кріплення гальмівної важільної передачі; тріщини, які виникають в основному металі посилюючих накладок поздовжніх балок рами, тріщини які виникають в посилюючих діафрагмах поздовжніх балках рами та ін.

Ходові міцнісні випробування проводять шляхом реєстрації процесів в контрольних точках деталей рами кузова під час дослідницьких поїздок в діапазоні експлуатаційних швидкостей, якщо це не загрожує безпеці руху. За результатами вимірювань виконують розрахунки, оцінюють коефіцієнт запасу опору втомі.

Реєстрація вимірюваних процесів ходових випробувань на міцність проводиться на прямих і кривих ділянках колії, стрілочних переводах у всьому діапазоні допустимих експлуатаційних швидкостей.

Ходові міцнісні випробування проводять під час поїздок в реальних умовах експлуатації з реєстрацією динамічних процесів і деформацій в контрольних точках.

Результати досліджень. Допустиме напруження матеріалу НМК автодрезини ДГКу складає $0,9 \cdot \sigma_t = 221$ МПа.

За результатами досліджень напружено-деформованого стану встановлено, що напруження в несучих металевих конструкціях дрезини ДГКу не перевищують допустимих. Найменше значення коефіцієнту запасу опору втомі дорівнює 1,51. Всі інші значення коефіцієнту запасу опору втомі складають 1,54 та вище рис. 1.

Отримані експериментальні дані відповідають вимогам $[n] = 1,5$ згідно ДСТУ ГОСТ 32265:2016.

При визначенні строку служби проведені розрахунки коефіцієнту запасу опору втомі $[n]$ несучих металевих конструкцій на строк служби до 65 років (64 років включно).



Рисунок 1 – Графік порівняння отриманих та допустимих значень коефіцієнту опору втомі

Отримані значення коефіцієнту запасу опору втомі є допустимими при періодичному технічному діагностуванні несучих металевих конструкцій автодрезин ДГКу зі строком служби до 65 років (64 років включно) та відповідають умові:

$$n \geq [n]$$

де $[n]$ - допустиме значення коефіцієнту запасу опору втомі для рами автодрезини ДГКу ($[n] = 1,5$);

n - дійсне отримане значення коефіцієнту запасу опору втомі.

Загальні висновки. Аналізуючи результати випробувань автодрезини ДГКу на ділянці ст. Трипілля – ст. Київ-Волинський шляхом проїзду в обох напрямках встановлено, що фактичні значення коефіцієнтів опору втомі НМК дрезини ДГКу відповідають вимогам ДСТУ ГОСТ 32265:2016 в діапазоні швидкостей до 80 км/год включно.

На основі результатів оцінки показників міцності та опору втомі, науково обґрунтованим є встановлення строку служби до 65 років (64 років включно) для автодрезин ДГКу, що перетнули призначений строк експлуатації.

Література

1. Fomin O., Kara S., Prokopenko P., Turovets D. Testing of load-bearing structures of special rolling stock after long-term operation. Collection of scientific works DUIT "Transport systems and technologies" Kyiv. 2021. Issue № 37.
2. Mukhamedova Z.G. Xromova G.A Yutkina I.S Mathematical model of oscillations of bearing body frame of emergency and repair railcar // Journal "Transport Problems", Volume 12, Issue 1, Gliwice 2017, pp. 93-103.

3. Rowshandel, H.; Nicholson, G.L.; Davis, C. L.; Roberts, C. An Integrated Robotic System for Automatic Detection and Characterization of Rolling Contact Fatigue Cracks in Rails Using an Alternating Current Field Measurement Sensor. Proc. Inst. Mech. Eng. Part F J. Rail Rapid Transit 2013, 227, 310–321.

4. Technical decision on extending the service life of cranes on railway tracks up to 60 years. TR.NDKTY/NVC.KR.01-2018. Kyiv NDKTI, 2018 - 16 p.

5. Research of the remaining resource in order to extend the service life of special wagons for the transportation of special contingents. Kyiv NDKTI, 2019 - 52 p.

6. Technical decision on ensuring the operation of freight trains of the State Railways of Ukraine beyond the designated service life. TR.NDKTI/UI.DGKu.01–2022. Kyiv NDKTI, 2022 - 14 p.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗГІНАЛЬНИХ ДЕФОРМАЦІЙ РАМИ ДРЕЗИНИ ВАНТАЖНОЇ КРАНОВОЇ З МЕТОЮ ВИЯВЛЕННЯ ПРИЧИН ЇХ ВИНИКНЕННЯ

Терещук М.П.

Науковий керівник: Фомін О.В., доктор технічних наук.

Національний транспортний університет, м.Київ, Україна

The problem of bending deformations of the frame of a cargo crane trolley is extremely urgent, because their occurrence directly affects the operational safety and reliability of this important railway transport. Undetected and unrepaired deformations can lead to serious accidents, threatening the life and health of personnel, as well as significant material losses. Research into the causes of these deformations is critically important for increasing operational stability, it will prevent the failure of expensive equipment.

Key words: special self-propelled rolling stock, load-bearing structures, operational stability, traffic safety

Вступ. Вантажні кранові дрезини відіграють ключову роль у забезпеченні функціонування залізничної інфраструктури, адже вони використовуються для виконання широкого спектру робіт, включаючи навантаження, розвантаження, транспортування вантажів, а також для ремонтних та відновлювальних робіт на коліях. Будь-яка несправність рами дрезини, що виникає через деформації, може паралізувати ці процеси, що призведе до затримок у русі потягів та значних економічних втрат.

Основна частина. Вимірювання геометрії рами кузова проводилося за допомогою тахеометра електронного.

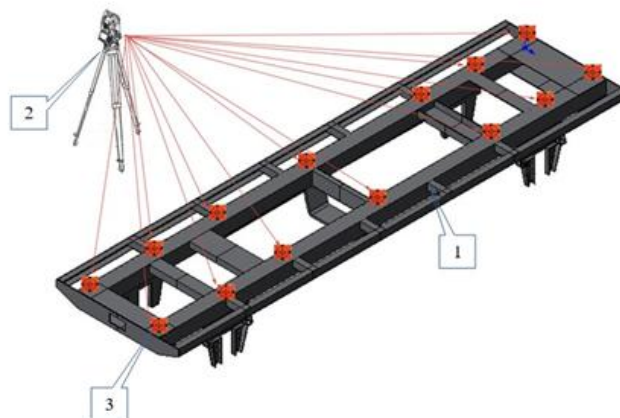


Рисунок 1 – Схема вимірювання вертикальних деформацій рами кузова дрезини ДГКу: 1 – рама кузова; 2 – тахеометр електронний; 3 – світловідбивачі.

Роботи включали в себе вимірювання величин прогину лівих та правих основних поздовжніх балок, перевіряння здійснювалось згідно з п. 10.8 ЦП-0193 Настанова з

ремонту вантажних дрезин ДГКу (допустимі прогини поздовжніх балок: вгору – 12 мм, вниз – 6 мм).

Як ми можемо побачити з діаграм вимірювання величин прогину основним місцем утворення прогину в основному є передня частина рами дрезини ДГКу. Також слід відмітити, що на рамах дрезин ДГКу №2 та №3 є значні прогини в середній частині. Відхилення від норми знаходиться в діапазоні від -81,32 до +30,49 мм.

Проаналізувавши конструктивні особливості рами дрезини ДГКу та розглянувши діаграми вимірювання величин прогину можливо припустити дві суттєві причини, що впливають на деформації рами, а саме:

- розміщення вантажу на рамі дрезини при його транспортуванні (при русі дрезини);
- робота по переміщенню вантажу крановим маніпулятором при статичному навантаженні/розвантаженні із застосуванням рейкових захватів.

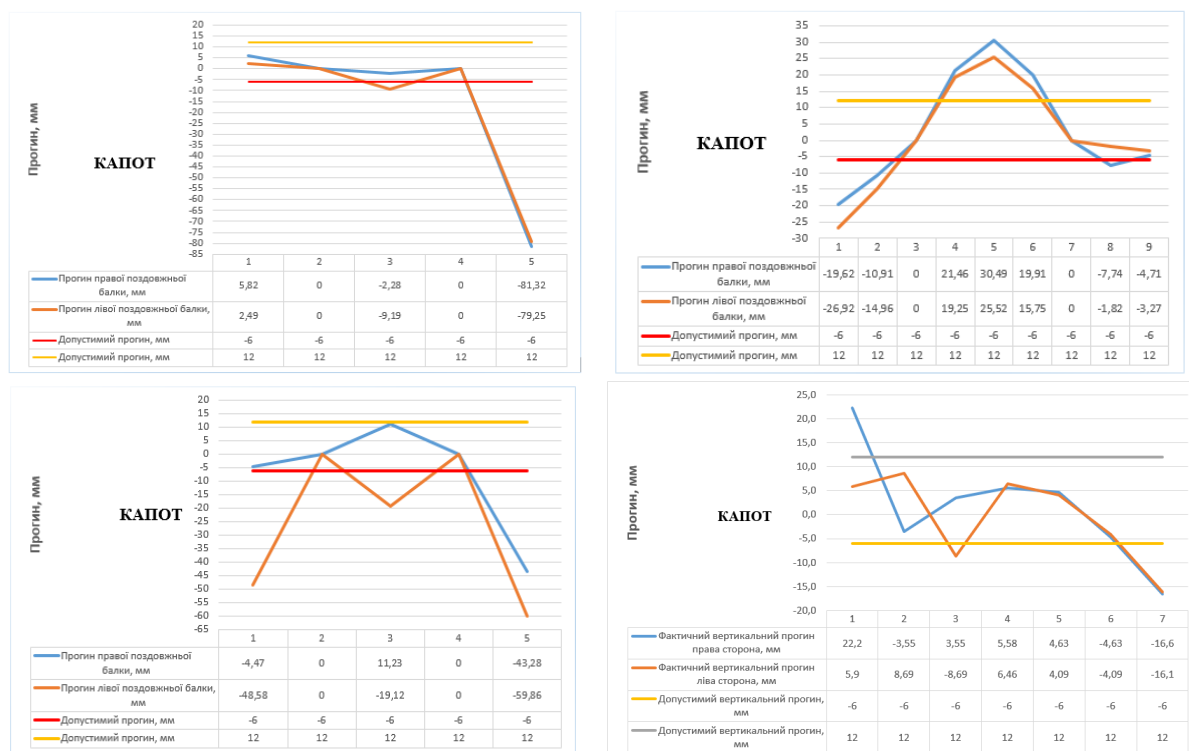


Рисунок 2 – Діаграми вимірювання величин прогину лівих та правих основних поздовжніх балок дрезин типу ДГКу

Висновки. Проведене дослідження дозволило встановити конкретні причини виникнення згинальних деформацій рами вантажної кранової дрезини, що є критично важливим для забезпечення її надійної експлуатації.

Виявлено, що основними факторами, які спричиняють деформації, є багаторазові циклічні навантаження під час підйому та переміщення вантажів, що призводить до накопичення втомних пошкоджень металу.

Значний вплив на розвиток згинальних деформацій мають динамічні удари та вібрації, які виникають при русі дрезини залізничними коліями, особливо на ділянках з нерівностями.

Література

1. Kovalenko, V., & Shevchenko, O. (2021). *Investigation of stress concentration zones in crane trolley frames*. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3(7), 45-53. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.232567>
2. Fomin O. Determining the dynamic loading on a semi-wagon when fixing it with a viscous coupling to a ferry deck / O. Fomin, A. Lovska, I. Kulbovskyi, H. Holub, I. Kozarchuk,

V. Kharuta // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. - 2019. - № 2(7). - С. 6-12. - [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2019_2\(7\)_2](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2019_2(7)_2)

3. Volkov, A., & Kuznetsov, D. (2022). *Diagnostics of frame deformations in freight cranes using strain gauges.* Measurement, 189, 110432. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.110432>

4. Fomin, O., Gerlici, J., Lovska, A., Kravchenko, K., Prokopenko, P., Fomina, A., Hauser, V. (2019). Durability Determination of the Bearing Structure of an Open Freight Wagon Body Made of Round Pipes during its Transportation on the Railway Ferry. Communications-Scientific letters of the University of Zilina, Vol. 21, № 1 (2019), 28-34 <https://dspace.snu.edu.ua/handle/123456789/636>

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОГИНІВ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК МОСТА ПІДСИЛЕНИХ МЕТИЛМЕТАКРИЛАТНИМИ КОМПОЗИЦІЯМИ ПРИ ДІЇ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

¹Риговцев О. І., аспірант

Науковий керівник: ²Ковальчук В. В., д.т.н., проф.

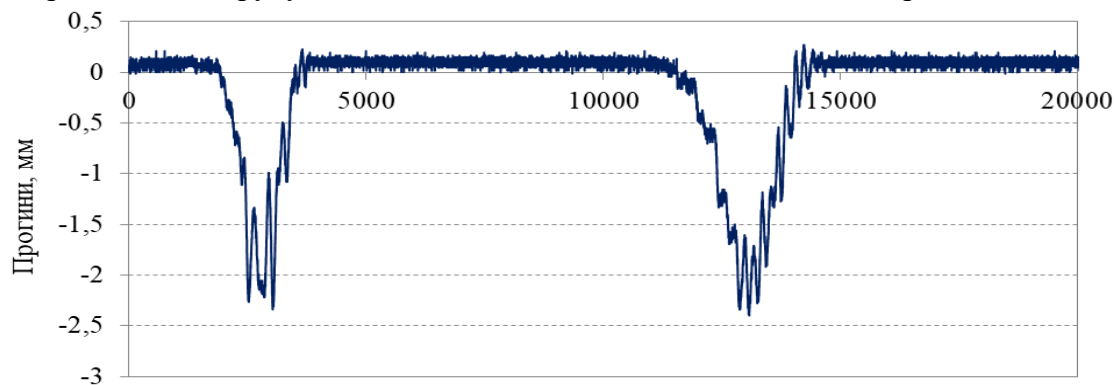
¹Національний транспортний університет, м. Київ, Україна,

²Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

The results of experimental dynamic tests of reinforced concrete bridge beams strengthened with methyl methacrylate composites are presented. The deflections of the reinforced concrete bridge beam before and after strengthening with methyl methacrylate composites were obtained. It was established that strengthening bridge beams with methyl methacrylate composites leads to a reduction in beam deflection compared to the unstrengthened beam.

Мости на залізницях та автомобільних дорогах відіграють важливу роль у забезпеченні безперебійності перевезень вантажів та пасажирів. Більшість із них побудовано із залізобетону. Через значний термін експлуатації та брак фінансування значна частина залізобетонних мостів мають дефекти та пошкодження. Одним із перспективних методів підсилення залізобетонних балок мостів є застосування композицій на основі метилметакрилату (ММА).

Для встановлення ефективності метилметакрилатних композицій для підсилення залізобетонних балок мостів проведені експериментальні динамічні випробування балок моста до підсилення та після підсилення. Графіки запису прогинів залізобетонних балок моста, при швидкості руху машин 40 км/год та 30 км/год, наведено на рис. 1.



a

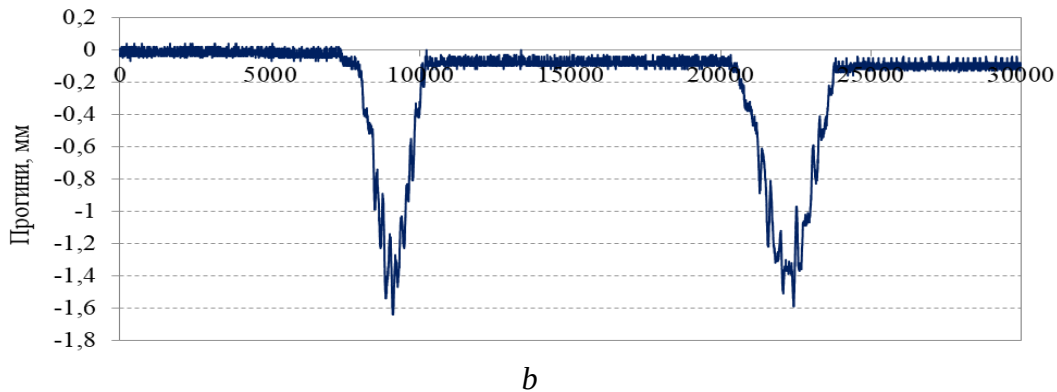


Рисунок 1 – Прогини залізобетонної балки Б-10 при проїзді машини по правій смузі руху із швидкістю 40 км/год та 30 км/год: *a* – до підсилення крайніх балок шляхопроводу; *b* – після підсилення крайніх балок шляхопроводу

Із рис. 1 видно, що при швидкості машини 30 км/год максимальна величина прогину залізобетонної балки Б-10, до підсилення крайніх балок метилметакрилатними композиціями складала 2,41 мм, а після підсилення крайніх балок – 1,6 мм. При русі машини із швидкістю 40 км/год величина прогинів складала 2,34 мм та 1,62 мм відповідно. Дані експериментальні дослідження підтверджують ефективність застосування метилметакрилатних композицій для підсилення дефектних залізобетонних балок мостів.

УДОСКОНАЛЕНИЙ МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ КОЕФІЦІЄНТА АВАРІЙНОСТІ НА ЗАЛІЗНИЧНИХ ПІШОХІДНИХ ПЕРЕХОДАХ

Юлія Лесів, аспірантка кафедри транспортних технологій
Науковий керівник: Віталій Ковальчук, д.т.н., професор.

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

Забезпечення безпеки руху пішоходів при перетині залізничних колій є актуальною проблемою українських перевізників та інфраструктурних операторів. Наявні методики оцінювання аварійності (зокрема, рекомендації для автомобільних доріг [1]) не враховують специфіку залізничних пішохідних переходів (ЗПП), особливо вплив щільності пішохідних потоків, видимості поїзда та вікових особливостей пішоходів. У роботі [2] запропоновано удосконалений підхід до визначення підсумкового коефіцієнта аварійності K_p , що дозволяє комплексно оцінювати умови руху пішоходів на ЗПП. Де проаналізовано та експериментально перевірено удосконалений метод визначення коефіцієнта аварійності на ЗПП у залежності від інтенсивності руху пішоходів і поїздів, планувально-геометричних параметрів переходу та його технічного облаштування.

Коефіцієнт аварійності на ЗПП, може бути використаний фахівцями з безпеки руху, проєктувальниками транспортної інфраструктури, аналітиками залізничного транспорту, органами державного управління, а також дослідниками у сфері транспортної безпеки. Завдяки включенню фізіологічних, технічних і поведінкових параметрів, метод дозволяє оцінити ризики в комплексі, навіть без прямої історії аварійності, і дає змогу ефективно планувати заходи з підвищення безпеки. Коефіцієнт аварійності на ЗПП визначається методом перемножування восьми часткових коефіцієнтів аварійності:

$$K_{\Pi} = \prod_{i=1}^8 K_i = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_8, \quad (1)$$

Значення часткових коефіцієнтів описано в табл. 1.1.

Табл. 1.1.

Часткові коефіцієнти K_1 – K_8 коефіцієнта аварійності на ЗПП

Коефіцієнт	Зміст коефіцієнта	Відмінність від методики [1]
K_1	Враховує добову інтенсивність руху поїздів через ЗПП	У методиці враховується інтенсивність автотранспорту, тут адаптовано для поїздів із врахуванням їхньої ваги та небезпеки
K_2	Враховує інтенсивність руху пішоходів за годину	Коефіцієнт, якого немає у методиці, враховує щільність пішохідних потоків
K_3	Враховує відстань видимості переходу до поїзда	Методика доріг враховує видимість автомобіль–перехід; тут адаптовано до швидкості та гальмівного шляху поїзда
K_4	Враховує обладнання переходу (ІСП, світлофор, шлагбаум)	У дорожній методиці інші типи обладнання (знаки, розмітка); вперше включено ІСП для пішоходів
K_5	Враховує штучне освітлення	Аналогічний коефіцієнт є на дорогах, але тут підлаштовано під умови залізничних переходів
K_6	Враховує радіус кривої залізничної колії у плані	У методиці враховується радіус повороту дороги, для ЗПП його вплив інший – на видимість поїзда
K_7	Враховує поздовжній ухил підходів до переходу	В методиці ухил впливає на гальмування авто; у ЗПП – на швидкість руху пішоходів та час перебування у небезпечній зоні
K_8	Враховує вікові й фізіологічні особливості пішоходів (швидкість)	Повністю новий коефіцієнт, відсутній у методиці для доріг; враховує поведінковий фактор і групи ризику

На відміну від класичної методики [1], модель доповнено коефіцієнтами K_2 та K_8 , які істотно підвищують точність оцінки умов безпеки руху.

Моделювання у роботі [2] показало суттєву залежність K_p від кількості поїздів та пішоходів. Встановлено, що застосування інформаційної системи попередження (ІСП) знижує K_p у середньому на 22–28 %, що узгоджується з результатами міжнародних досліджень ITS-технологій [3].

Безперечно планувально-геометричні параметри, такі як видимість поїзда, з точки зору пішоходів та поздовжній ухил на підходах до ЗПП згідно моделювання мають вагомий вплив на K_p . Довжина видимості поїзда є одним із ключових чинників безпеки на ЗПП, оскільки збільшення видимості може зменшувати рівень ризику орієнтовно на 20–40 %. Особливо це важливо за підвищених ЗПП, коли пішоходи перебувають у небезпечній зоні довше. У випадках великої інтенсивності руху пішоходів забезпечення більшої видимості дозволяє знизити аварійність ще приблизно на третину. Поздовжній ухил суттєво впливає на швидкість руху пішоходів, оскільки зі збільшенням ухилу ризик зростає на 15–30 %, залежно від умов руху. За невеликої інтенсивності допустимими можуть бути ухили більші, однак зі збільшенням кількості пішоходів вимоги до ухилу стають жорсткішими, оскільки ризики зростають майже вдвічі. За дуже високої інтенсивності руху забезпечення мінімального ухилу дозволяє знизити небезпеку приблизно на 25–40 %.

На основі дослідження [2] оптимальний комплекс параметрів повинен включати видимість поїзда, поздовжній ухил, радіус кривої більше 200 м, обов'язкова наявність штучного освітлення, застосування ІСП, обмеження інтенсивності руху пішоходів до 100 осіб/год або впровадження інженерних рішень для регулювання потоків. За дотримання цих умов K_p відповідає безпечному переходу згідно з критеріями зазначеними в Методиці [1].

Запропонований удосконалений метод оцінювання коефіцієнта аварійності дозволяє комплексно враховувати транспортно-експлуатаційні, інженерні та поведінкові фактори. Включення коефіцієнтів K_2 (інтенсивність пішоходів) та K_8 (швидкість руху пішоходів в залежності від фізіологічних особливостей) значно підвищує точність моделювання реальних умов експлуатації ЗПП. Результати можуть бути використані для реконструкції існуючих ЗПП, розроблення нормативних документів та систем підтримки прийняття рішень для АТ «Укрзалізниця».

Список літератури

1. Державна служба автомобільних доріг України. (2008). Методика оцінки рівнів безпеки руху на автомобільних дорогах України (М 218-03450778-652:2008).
2. Julia Lesiv, Vitalii Kovalchuk. Assessment of the accident rate coefficient at pedestrian railway crossings. Transport Technologies 2025; Volume 6, Number 1: 61-72 <https://doi.org/10.23939/tt2025.01.061>
3. Holotyuk, M. V., Pylypaka, T. S., Valetska, O. V., Tkhoruk, Y. I., & Doroshchuk, V. O. (2024). The impact of intelligent transport systems on road safety. Bulletin of the National University of Water Management and Nature Resources Use, 2(106), 195–205. <https://doi.org/10.31713/vt2202417>.

ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНИХ СПІВВІДНОШЕНЬ ОПИСУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ СТРУКТУРНИМИ НЕДОСКОНАЛОСТЯМИ

¹Гавриляк А.Р., ^{1,2}Кузін М.О.

¹Національний університет «Львівська політехніка», м.Львів, Україна,

²Львівський науково-дослідний інститут судових експертиз, м. Львів, Україна.

The problem of constructing a relationship for describing the technical condition of structural elements with distributed defects is considered. Mathematical relationships are proposed for assessing the feasibility of their continued use.

Встановлення взаємозв'язку між технічним станом елементів залізничної інфраструктури і можливими режимами їх експлуатації є однією із найважливіших викликів для сучасного транспорту. Така проблема є характерною не тільки для України, але й для інших країн світу, де намагаються проводити оптимізацію витрат як на утримання рухомого складу, так і основних фондів залізниць.

Одним із способів вирішення цієї проблеми є використання підходів математичного моделювання для розрахункової оцінки надійності деталей залізничної техніки в наперед передбачуваних режимах експлуатації.

В даній роботі пропонується оцінювати поведінку елементів конструкцій базуючись на напрацюваннях розділів механіки суцільних середовищ, що враховують внутрішні структурні недосконалості за допомогою процедурної континуалізації, а саме – моделях механіки пошкоджених середовищ (continuum damage mechanics), механіки розподілених фазових полів (phase field mechanics), та нелокальної механіки, яка в деяких літературних джерелах має назву перидинаміки (perydynamics).

Слідуючи напрацюванням у даних областях введемо наступні фізичні постулати для побудови модельних співвідношень [1, 2]:

- 1) всі структурні недосконалості в тілі та на границях будемо моделювати за допомогою скалярної змінної φ , яка змінюється від 0 до 1 (причому $\varphi=1$ являє собою зруйнований фрагмент матеріалу, $\varphi=0$ – повністю непошкоджений);

2) енергетична міра структурної недосконалості g в точці залежить як від самої змінної φ , так і від її градієнта $\vec{\nabla}\varphi - g \equiv g(\varphi, \vec{\nabla}\varphi)$, де $\vec{\nabla}$ – оператор градієнта.

3) локальна зміна величини пошкодженості підпорядковується умовам нелокальності і залежить від стану поточної пошкодженості та її градієнта як в самій точці, так і певного околу навколо неї:

$$\dot{\varphi} = f \left(\varphi, \vec{\nabla}\varphi, \frac{\int \varphi dv}{\dim(H_x)}, \frac{\int \vec{\nabla}\varphi dv}{\dim(H_x)}, P \right), \quad (1)$$

де P – множина, що описує фізичні параметри середовища, які залежать від розподілу тензора напружень у тілі, H_x – певний структурний параметр, яких характерний для аналізу розподілу пошкодженості (з практичних позицій приймаємо його рівним 0.1 мм), $\dot{\varphi}$ – зміна пошкодженості в часі, $\dim(\dots)$ – оператор розмірності.

Без обмеження узагальненості, функціонал накопиченої енергії представимо у наступному вигляді:

$$\Psi_s(u, \varphi) = \int_{\Omega} g(\varphi, \vec{\nabla}\varphi) \psi_0(\bar{u}) dv, \quad (2)$$

де $g(\varphi, \vec{\nabla}\varphi)$ – енергетична функції деградації, $\psi_0(\bar{u})$ – густина енергії деформації.

При одночасному появі пружних та пластичних деформацій функціонал (2) матиме наступний вид:

$$\Psi_s(\hat{e}^e, \hat{e}^p, \varphi) = \int_{\Omega} \left(g^e(\varphi, \vec{\nabla}\varphi) \psi_0(\hat{e}^e) + g^p(\varphi, \vec{\nabla}\varphi) \psi_0(\hat{e}^p) \right) dv, \quad (3)$$

де $\hat{e}^e$ – тензор пружних деформацій, $\hat{e}^p$ – тензор пластичних деформацій, $g^e(\varphi, \vec{\nabla}\varphi)$, $g^p(\varphi, \vec{\nabla}\varphi)$ – енергетичні міри пружних та пластичних деформацій.

Поверхневу енергію руйнування представимо у наступному вигляді:

$$\Psi_c(\Gamma, \varphi) = \int_{\Omega} G_s \gamma(\varphi, \vec{\nabla}\varphi) dv, \quad (4)$$

де G_s – рівень енергії міцності матеріалу, $\gamma(\varphi, \vec{\nabla}\varphi)$ – енергетична функції деградації.

В результаті вільна енергія тіла дорівнює:

$$\Psi = \Psi_s(u, \varphi) + \Psi_c(\Gamma, \varphi) = \int_{\Omega} g(\varphi, \vec{\nabla}\varphi) \psi_0(\vec{\nabla} \otimes \bar{u}) dv + \int_{\Omega} G_s \gamma(\varphi, \vec{\nabla}\varphi) dv. \quad (5)$$

Величина тензора напружень дорівнює:

$$\hat{\sigma} = g(\varphi, \vec{\nabla}\varphi) \frac{\partial \psi}{\partial (\vec{\nabla} \otimes \bar{u})}. \quad (6)$$

Підставляючи співвідношення (6) в рівняння рівноваги суцільних середовищ отримаємо базове рівняння динаміки механіки в переміщеннях:

$$\vec{\nabla} \cdot \left(g(\varphi, \vec{\nabla}\varphi) \frac{\partial \psi}{\partial (\vec{\nabla} \otimes \bar{u})} \right) + \vec{b} = \rho \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial \tau^2}. \quad (7)$$

Рівняння (7) з врахуванням співвідношення (1) із сукупністю граничних та початкових умов є достатнім для опису поведінки елементів конструкцій при навантаженнях, а також для руйнування при різних умовах поширення тріщин – крихкого, пластичного, в'язкого та втомного.

Проведемо конкретизацію постановки задачі на базі вищенаведених рівнянь для визначення та прогнозування критичного технічного стану елементів відповідальних конструкцій і розгляду можливостей їх експлуатування.

Нехай конструкція в поточний момент часу τ_1 має наступний розподіл пошкодженості $\varphi(x, \tau_1)$. З рівняння (7) визначаємо рівень напружень у тілі та розподіл множини параметрів P в кожен момент часу. На основі співвідношень типу (1) встановлюємо зміну пошкодженості у конструкції. Умову досягнення критичного стану подамо у виді:

$$\dim_{x \in X} \left(\left(\|\varphi(x, \tau_*) - \varphi_*\| \right) \leq \varepsilon \right) \geq d_*, \quad (8)$$

де φ_* , d_* - критичний рівень пошкодженості та розміру області, яка задовольняє умові (8).

Відповідно умова досягнення граничного часу функціонування елемента конструкції полягає у встановленні такого часу τ_* , при якому умова типу (8) для деталі справджується. Таким чином побудовані у роботі співвідношення дозволяють проводити оцінку подальшої експлуатації виробів із структурними недосконаlostями.

Література

1. Diehl P., Lipton R., Wick T., Tyagi M. A comparative review of peridynamics and phase-field models for engineering fracture mechanics// Computational Mechanics. – 2022, 69. – p. 1259 – 1293.
2. Javili A., Morasata R., Oterkus E., Oterkus S. Peridynamics review//Mathematics and Mechanics of Solid. – 2019, vol. 24 (11). – p. 3714 - 3739.

ОЦІНКА ГРАНИЦІ ВИТРИВАЛОСТІ МАТЕРІАЛУ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ РЕЙКОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ

Горобець Є.В., к.т.н.

ТОВ «НВП «УКРТРАНСАКАД», м. Дніпро, Україна

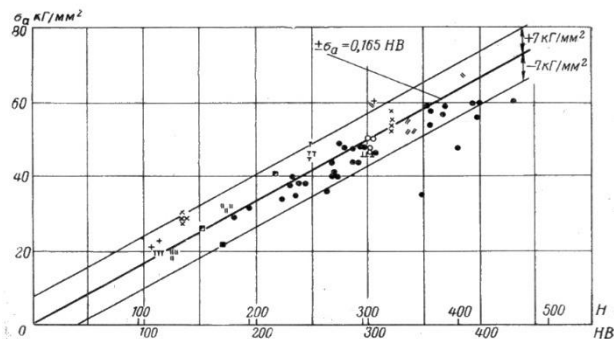
The article presents methods for assessing the endurance limit of load-bearing structures of rolling stock of rail transport. According to the results of the work carried out, it was established that the developed service life of the structure has an impact on the mechanical characteristics of its material.

У системах рейкових видів транспорту України (залізниця, метрополітен і здебільшого трамвайний транспорт) експлуатується значна кількість одиниць рухомого складу, яка на грані вичерпання призначеного виробником строку служби. І хоча для кожного виду транспорту діють програми по оновленню парку рухомого складу, постає задача продовження строку служби діючих одиниць для уникнення їх лавиноподібного виходу з використання.

Одним з найважливіших аспектів оцінки строку корисного використання рухомого складу є визначення границі витривалості їх конструкції, для визначення якої необхідно знати границю витривалості її матеріалу. Пряме визначення цього показника шляхом проведення натурних випробувань несучих конструкцій або їх зразків є тривалим та затратним. Зменшенню обсягів експериментальних робіт присвячене це повідомлення. На відміну від оцінки нового виробу, оцінці технічного стану рухомого складу в експлуатації притаманні наступні особливості. По-перше, надання переваги неруйнівному контролю задля збереження кожної одиниці рухомого складу, що унеможливорює деякі методи контролю. По-друге, індивідуальна історія експлуатації кожної одиниці рухомого складу, що потребує проведення їх суцільного контролю в об'ємі, залежному від методики продовження строку служби та його наукового обґрунтування.

Для вирішення задачі оцінки границі витривалості несучих конструкцій непрямыми методами можливо використовувати регресійні залежності границі витривалості матеріалу НК від інших його характеристик:

1. Від твердості матеріалу (рис.1). За належної підготовки поверхні металоконструкції та високої кваліфікації фахівця можливо проведення визначення цієї характеристики за допомогою портативного твердоміру;
2. Від границі плинності та від границі міцності матеріалу. Отримується при випробуваннях матеріалу на розтяг;
3. Від вуглецевого еквіваленту. Можливий при проведенні хімічного аналізу металу несучої конструкції об'єкта обстеження.



а)



б)

Рис. 1. Графіки залежностей:

а) – границі витривалості матеріалу від його твердості; б) – твердості матеріалу від пробігу одиниць рейкового рухомого складу, що обстежувались.

Використання залежності границі витривалості від твердості матеріалу є найбільш перспективним у випадку використання портативних приладів вимірювання. Результатом проведення обстеження парку рухомого складу з пробігом від 500 000 км до 2 000 000 км є кореляція між напрацьованим ресурсом та твердістю елементів його несучої конструкції. Проте рекомендується комбінувати даний метод з іншими підходами до оцінки залишкового ресурсу. Подальшими напрямками досліджень є встановлення впливу на кінцевий результат роботи з оцінки ресурсу кваліфікації фактору оператора та метрологічних характеристик портативних твердомірів (таких як допустимі межі відхилення та невизначеність вимірювань приладу).

Таким чином, запропонований підхід дозволяє оцінювати витривалості матеріалу несучих конструкцій рухомого складу без проведення довготривалих та затратних стендових вібраційних випробувань їх матеріалу або конструкції.

АНАЛІЗ ТА ПОРІВНЯННЯ ТЯГОВИХ ПЕРЕДАЧ РІЗНИХ КЛАСІВ, ЯКІ ЗАСТОСОВУЄТЬСЯ НА ВІЗКАХ РУХОМОГО СКЛАДУ МЕТРОПОЛІТЕНУ

Бірюков С. В., Чухліб В. Л.

Науковий керівник: Чухліб В. Л., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерного моделювання та інтегрованих технологій обробки тиском

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», м.Харків, Україна*

The bogie of a metro electric train carriage has a complex design, the main elements of which are the frame, traction transmission, spring suspension, brake-lever transmission and wheel sets. These components of the bogie design must comply with all technical operation standards and requirements to ensure traffic safety and reliable operation of the rolling stock.

The bogie's traction transmission serves to transfer torque from the traction motor shaft to the bogie's wheel set. One of the main components of the traction transmission is its suspension, which attaches it to the bogie frame. The suspension design must support the traction motor shafts and reduction gear at the same level, as well as soften the dynamic loads on the traction transmission when the car is moving over uneven tracks.

Metro carriages most often use a frame suspension for the traction motor and an axial suspension for the gearbox, which corresponds to a second-class traction transmission. The gear wheel of the reducer is pressed onto the axle of the wheel pair, and the reducer housing is attached to the bogie frame using a special suspension with rubber-metal shock absorbers, as shown in Figure 1. This class of traction transmission is used on the rolling stock of the Kharkiv Metro.

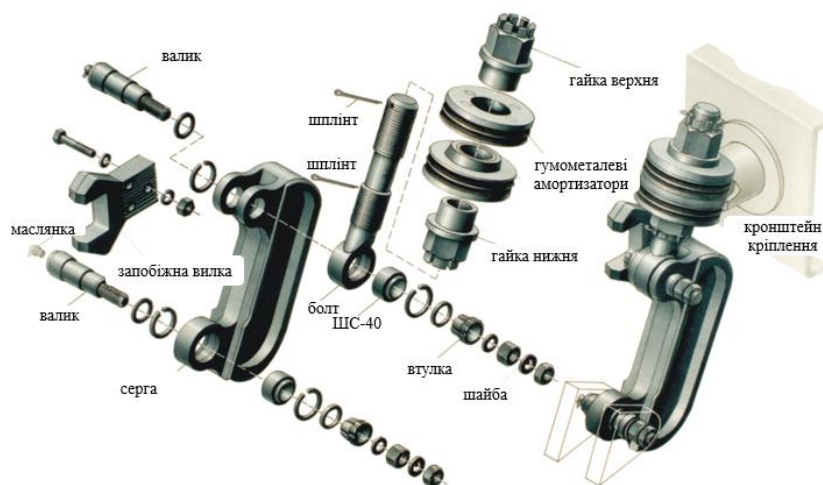


Figure 1 – Gearbox suspension

More modern rolling stock and foreign-made carriages also use third-class traction transmission, where both the traction motor and traction gearbox are mounted on the bogie frame. This type of suspension significantly reduces the impact of dynamic loads on the traction drive, reduces noise and vibration, which has a positive effect on the service life of the rail track. However, such transmissions are more complex in design and difficult to maintain.

ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛАСТОМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ НАПРУЖЕНЬ У КОНСТРУКЦІЯХ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ

Фомін О.В., Козинка О.С., Іванченко Д. А.
кафедри «Вагони та вагонне господарство»

Національний транспортний університет, Київ, Україна

Під час експлуатації вантажних залізничних вагонів виникають значні динамічні навантаження, спричинені нерівностями колійного полотна, маневровими ударами, процесами гальмування, зміною швидкості руху та зчепленням вагонів. Такі впливи створюють підвищені напруження в конструктивних елементах вагона, особливо у зонах з'єднання ходової частини з рамою кузова, у ресорних підвісках, брусах та інших вузлах. Надмірні напруження сприяють розвитку втомних тріщин, деформацій, порушенню балансу механізмів, що призводить до скорочення ресурсу роботи вагона, збільшення витрат на ремонт і технічне обслуговування, а також до зниження рівня безпеки перевезень.

Традиційні конструкційні підходи часто не забезпечують достатнього рівня віброізоляції та демпфування механічних коливань, особливо під час транспортування чутливих або небезпечних вантажів. Тому актуальним завданням є пошук інженерних рішень, які дозволяють ефективно зменшити напруження від динамічних навантажень без суттєвого ускладнення конструкції чи збільшення її маси.

Одним із перспективних напрямів удосконалення вантажних вагонів є використання еластомерних матеріалів – полімерів, що здатні до значних зворотних деформацій і мають властивість поглинати та розсіювати енергію коливань. Еластомери можуть застосовуватись у вигляді амортизуючих елементів, прокладок, вставок або покриттів, що

дозволяє зменшити локальні напруження в конструкції. Водночас для ефективного впровадження таких матеріалів необхідно дослідити їх взаємодію з елементами вагона, оцінити характеристики демпфування та визначити оптимальні варіанти інтеграції в конструкцію.

У сучасних науково-технічних джерелах відзначається підвищений інтерес до застосування еластомерних матеріалів у конструкціях рухомого складу, зокрема вантажних вагонів, для зменшення вібрацій, шуму та динамічних навантажень. Такий підхід спрямований на продовження строку служби вагонів, зниження експлуатаційних витрат і поліпшення умов транспортування вантажів.

Динамічні навантаження під час руху характеризуються кількома особливостями: імпульсністю (ударна короткочасна дія), циклічністю (повторювані коливання при русі по рейках), випадковістю (хаотичні впливи через дефекти колії чи перешкоди), резонансністю (співпадіння частот зовнішніх збурень і власних коливань системи) та комбінованістю (одночасна дія вертикальних, горизонтальних і крутних навантажень).

Такі впливи призводять до розвитку втомних пошкоджень, локальних пластичних деформацій, розхитування конструкції та руйнування з'єднань, особливо у місцях концентрації напружень – біля зварних швів, отворів і гострих кутів профілю.

Найбільш схильними до дії динамічних навантажень є такі вузли та елементи вантажного вагона:

- хребтова балка та рама кузова, які сприймають згинальні й крутні навантаження;
- вузли автозчепу, що зазнають осьових ударів і поздовжніх імпульсів;
- візки та ресорні підвіски, які передають основні динамічні впливи на кузов;
- боковини, поперечні балки та стінки кузова, особливо в умовах нерівномірного завантаження або під час руху на кривих ділянках колії.

Рама є головним несучим елементом, який сприймає навантаження від вантажу, ходової частини та автозчепного пристрою. Найбільше навантаження припадає на хребтову балку, поздовжні лонжерони, поперечні балки та зони примикання до автозчепу. Під впливом вертикальних і поздовжніх сил у цих ділянках виникають згинальні та крутні напруження. У процесі тривалої експлуатації можливе утворення мікротріщин у зварних швах і перехідних зонах профілю.

Основні властивості еластомерів: Висока еластичність. Здатні до великих зворотних деформацій (до 100–1000%) без пошкодження, ефективно поглинають енергію коливань і зменшують амплітуду вібрацій. Внутрішнє демпфування. Завдяки високій в'язкоеластичності еластомери розсіюють енергію коливань у вигляді тепла, зменшуючи рівень вібрацій навіть за багаторазових циклів навантаження. Температурна стабільність. Технічні еластомери (EPDM, нитрильний каучук, неопрен) зберігають свої властивості у широкому діапазоні температур – від -40°C до $+100^{\circ}\text{C}$. Стійкість до старіння. Еластомери мають високу опірність дії озону, ультрафіолету та окиснення, що забезпечує збереження їх еластичності протягом тривалого періоду експлуатації. Хімічна стійкість. Нитрильні та інші технічні каучуки стійкі до впливу палив, мастил, кислот і лугів, що дозволяє застосовувати їх у складних умовах залізничної експлуатації. Амортизаційна здатність. Еластомери ефективно знижують ударні навантаження, зменшують імпульсні впливи та запобігають втомному руйнуванню конструкцій. Технологічність інтеграції. Легко формуються методом лиття, пресування або вулканізації, що дає змогу використовувати їх як прошарки, втулки, прокладки чи монолітні вставки у вузлах вагонних конструкцій.

Демпфувальні властивості: 1) Високий внутрішній коефіцієнт демпфування: дозволяє поглинати до 30–50% механічної енергії в одному циклі. 2) Низька передача коливань: ефективно ізолює вібрацію від джерела до несучих елементів (наприклад, від візка до рами). 3) Поведінка в широкому температурному діапазоні: робочий діапазон еластомерів зазвичай становить від -40°C до $+100^{\circ}\text{C}$ (деякі спеціальні рецептури – до $+150^{\circ}\text{C}$).

Еластомери завдяки своїм унікальним демпфувальним властивостям та стійкості до агресивного середовища є перспективними матеріалами для застосування в конструкціях

вантажних вагонів з метою зниження рівня динамічних напружень. Завдяки своїм властивостям еластomers розглядаються як перспективні матеріали для використання в конструкціях вантажних вагонів у ролі демпфувальних елементів – прокладок, вставок, покриттів або амортизувальних компонентів у з'єднаннях. Їхнє використання дозволяє не тільки підвищити довговічність рами, ходової частини та вузлів з'єднання, але й покращити експлуатаційні характеристики всього рухомого складу.

Література

1. Білик О.В., Козир С.В. Еластomers в транспортному машинобудуванні. — Київ: НТУУ «КПІ», 2020. — 132 с.
2. Петров І.М., Сидоренко А.П. Захист металевих конструкцій від вібрацій та корозії. — Харків: ХНАДУ, 2018. — 148 с.
3. Жуковський В.О., Терещенко Л.С. Довговічність деталей рухомого складу: матеріалознавчі аспекти. — Львів: Видавництво ЛНТУ, 2019. — 224 с.

ГЕОДЕЗИЧНІ ВИШУКУВАННЯ ЯК ОСНОВА РЕКОНСТРУКЦІЇ ПРОМІЖНОЇ ЗАЛІЗНИЧНОЇ СТАНЦІЇ

Дмитричук І.Б. студентка, Тенсіна С.С. студентка

Науковий керівник: Сліпецька Г.М. викладач

Відокремлений структурний підрозділ «Львівський фаховий коледж транспортної інфраструктури Національного університету «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

The report presents a comprehensive overview of geodetic surveys required for the reconstruction of an intermediate railway station. The study includes theodolite measurements, levelling, construction of longitudinal and cross profiles, tachymetric surveying, and the formation of design solutions based on obtained spatial data. The results ensure accurate planning, assessment of earthwork volumes, and safe development of station infrastructure modernization.

У роботі висвітлено комплекс геодезичних вишукувальних робіт, необхідних для виконання реконструкції проміжної залізничної станції. Розглянуто ключові етапи: теодолітні вимірювання [1], нівелювання [2], побудова поздовжніх і поперечних профілів [3], тахеометричне знімання [4], аналіз станційної площадки та формування проектних рішень [5].

1. Теодолітні роботи

Теодоліт застосовується для вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів. Ці дані є базою для розробки ситуаційного плану майбутньої реконструкції станції. Серед основних типів приладів використовують Т1, Т2, Т5, Т15, Т30 [1].

Формула визначення збільшення зорової труби теодоліта:

$$V = f_{об}/f_{ок} \quad (1)$$

Формула визначення колімаційної похибки:

$$C = 0,5 (Lp - Rp + 180^\circ) \quad (2)$$

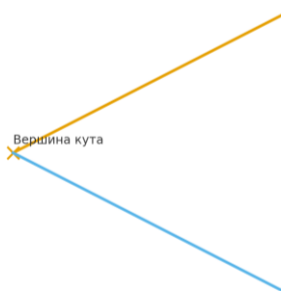


Рисунок 1 – Схема вимірювання горизонтального кута

2. Нівелювання місцевості

Нівелювання виконується нівеліром Н-3, який забезпечує середню квадратичну похибку до 3 мм на 1 км ходу. Метою є визначення висот станційної площадки та підготовка даних для побудови поздовжнього і поперечного профілів [2].

Основна формула для визначення перевищення:

$$h = a - b \quad (3)$$

де a – відлік по рейці на задній точці, b – відлік по рейці на передній точці.

Рейка 1

Рейка 2



Рисунок 2 – Схема нівелірного ходу

3. Побудова профілів станції

На основі отриманих висотних та планових даних формуються поздовжній і поперечний профілі станційної площадки. Це дозволяє визначити характер земляних робіт, ухили, можливі деформації та обмеження для проектного колійного розвитку.

Формула для обчислення площі поперечного профілю методом трапецій:

$$F = ((a + b) / 2) \cdot h \quad (4)$$

4. Тахеометричне знімання

Тахеометричне знімання використовується для отримання тривимірної моделі території станції. Воно дозволяє точно визначити положення всіх споруд, комунікацій та елементів інфраструктури[4].

5. Формування проектної схеми реконструкції

На основі результатів вимірювань і аналізу станційної ситуації визначають оптимальну схему колійного розвитку, включаючи кількість приймально-відправних колій, стрілочні переводи, платформи, вантажні райони та інші елементи[5].

Висновки. Геодезичні вишукування є обов'язковою складовою реконструкції проміжних станцій. Вони забезпечують точність проектування, визначення обсягів земляних робіт і формування ефективної технології роботи станції.

Список використаних джерел

1. Шевчук В. Геодезичні вимірювання: підручник. – Київ: Ліра-К, 2020.
2. ДСТУ 2730:2015. Геодезія. Нівелювання. – Київ: Мінекономрозвитку України.
3. Бойко В. Інженерна геодезія. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2019.
4. Kavanagh B. Surveying: Principles and Applications. – Pearson, 2022.
5. UIC Railway Infrastructure Guidelines. International Union of Railways, 2021.

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ АВТОМАТИЧНИХ ТА МЕХАНІЧНИХ КОРОБОК ПЕРЕМИКАННЯ ПЕРЕДАЧ

Пелех Вікторія Павлівна, група ТТ-411

Науковий керівник: Дранівський Назарій Ігорович, викладач автотранспортних дисциплін

Відокремлений структурний підрозділ «Тернопільський фаховий коледж Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя», м.Тернопіль, Україна

The article compares the relevance of manual and automatic transmissions in modern vehicles. It explains why manuals remain valued for their simplicity and low maintenance

cost, while automatics gain dominance due to comfort and technological integration. The conclusion emphasizes that automatics are likely to prevail in future transportation trends.

Сучасний розвиток науки і техніки суттєво впливає на транспортну галузь, яка є однією з найдинамічніших сфер світової економіки. Переміщення між країнами займає години, а подорожі стали доступнішими завдяки широкому вибору транспортних засобів. Найбільш поширеним видом транспорту залишаються легкові автомобілі, що щодня у великій кількості виходять на ринок.

Одним із ключових елементів автомобіля є коробка перемикання передач (КПП). Уже тривалий час на ринку конкурують два основних варіанти — механічні коробки передач (МКПП) та автоматичні (АКПП). У розвинених країнах популярність автоматичних трансмісій стрімко зростає, тоді як в Україні цей процес уповільнений економічними та соціальними чинниками.

Популярність АКПП зумовлена їхньою зручністю, особливо для водіїв-початківців та жінок, які не бажають відволікатися на перемикання передач. Автомат забезпечує швидкий розгін, плавне гальмування та комфорт у міських умовах. На складах і підприємствах також дедалі частіше використовують техніку з автоматичними трансмісіями, що підвищує продуктивність.

Проте широке впровадження автоматичних КПП в Україні стримується високою вартістю ремонту, нестачею кваліфікованих спеціалістів та загальною економічною ситуацією в умовах воєнного часу. Механічні коробки залишаються привабливими через простоту конструкції, надійність, нижчу вартість обслуговування і кращий контроль у складних дорожніх умовах.

Механічна коробка передач (МКПП) зберігає актуальність завдяки простій конструкції, низькій вартості ремонту та доступності запчастин. Вона забезпечує високий рівень контролю над автомобілем, що важливо в гірській місцевості, на слизьких дорогах, а також у спеціальній техніці. Для підприємств, де потрібна точність та навантажувальні роботи, механічна трансмісія часто є оптимальним рішенням.

Автоматичні коробки передач (АКПП), у тому числі сучасні варіанти на кшталт DSG, CVT чи Tiptronic, пропонують комфорт, плавність руху та менше навантаження на водія. Нові моделі АКПП часто не лише не поступаються, а й перевершують МКПП за економічністю. Автоматичні трансмісії також краще інтегруються з системами безпеки, електронними помічниками та автономними технологіями, що робить їх ключовим елементом майбутнього транспорту.

Механічні коробки передач не втратили своєї актуальності — вони залишаються оптимальним варіантом для тих, хто шукає дешеве обслуговування, простоту та надійність. Водночас світові тенденції свідчать про домінування автоматичних трансмісій у майбутньому завдяки комфортності, технологічності та розвитку електромобільності.

Література

1. Automotive Transmission Market Report 2024. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/automotive-transmission-market-115116407.html>
2. ACEA – European Automobile Manufacturers Association Statistics 2023. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.acea.auto/statistics>
3. Bosch Automotive Handbook 2022. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.bosch-mobility-solutions.com>
4. Toyota Official Website. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.toyota.com>
5. Volkswagen Official Website. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.vw.com>

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ С-С ФРИКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ 4D СТРУКТУРИ АРМУВАННЯ ДЛЯ ГАЛЬМІВНИХ СИСТЕМ

Черкашин І.А. магістрант кафедри ЗАТтаПТМ, Шевченко С.І. к.т.н. доцент кафедри ЗАТтаПТМ, Полупан Є.В. к.т.н. доцент кафедри ЗАТтаПТМ.

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Київ., Україна

The paper considers the study of mechanical parameters of a modified carbon matrix of a 4D friction material of the reinforcement structure. Mathematical modeling is performed to determine the main mechanical properties of the C-C friction material, such as the elastic modulus, shear modulus, and Poisson's ratio.

В останні роки спостерігається стабільне збільшення обсягів вантажних перевезень залізничним транспортом України в порівнянні з автомобільним, що обумовлено підвищенням швидкісних показників руху поїздів, а також економічними та екологічними перевагами. У зв'язку з цим безпека руху вимагає дотримання суворих нормативних вимог щодо довжини гальмівного шляху, часу гальмування та уповільнення, які безпосередньо залежать від ефективності гальмівних систем. На підставі досліджень встановлено, що модифіковані С-С композиційні матеріали на основі вуглецевої тканини УРАЛ ТМ-4 та УРАЛ Т-22 з піровуглецевою матрицею та абразивними модифікаторами тертя забезпечують досить високий коефіцієнт тертя, але зараз ще досить не дослідженні їх механічні властивості в різних структурах армування. В роботі ставиться завдання дослідження механічних властивостей С-С фрикційних матеріалів 4D структури армування.

Аналіз схем армування показує, що у більшості розглянутих груп матеріалів можна виділити повторюваний елемент у вигляді плоского шару. Характерною особливістю цього елемента, на відміну від звичайного односпрямованого шару, прийнятого в теорії армованих середовищ, є наявність волокон двох напрямків. Волокна напрямку 1 розташовані в площині шару, а волокна напрямку 3 – перпендикулярні площині шару. Якщо в кожному шарі знехтувати неоднорідністю структури і знайти його ефективні характеристики як квазіоднорідного матеріалу, то деформаційна модель композиційного матеріалу з просторовим розташуванням арматури може розглядатися у вигляді неоднорідного блоку, що складається з елементарних шарів, які можуть відрізнятися за орієнтацією і вмістом арматури в площині шару. Пружні характеристики кожного з шарів визначаються властивостями компонентів і їх об'ємною концентрацією. При цьому для розрахунку характеристик ортогонально армованого двовимірного шару волокнистого композиту використовується прийом, суть якого полягає в тому, що розрахунок проводиться за формулами для односпрямованого композиту, але характеристики модифікованої матриці розраховують попередньо через властивості сполучного і армуючих волокон ортогонального напрямку.

Таким чином, розрахунки показують, що для плоского моношару розглянутих структур просторово армованих матеріалів ступінь армування в площині шару постійна, а у вертикальному напрямку збігається із значенням ступеня армування у цьому напрямку.

Розрахунок проводиться методом усереднення пружних властивостей волокон, укладених у напрямках, перпендикулярних до напрямку армування. Подальший розрахунок деформативних характеристик шаруватого матеріалу визначається вибором напрямків армування, які усереднюються при модифікації властивостей матриці або є арматурою виділеного елементарного шару. У процесі дослідження механічних параметрів модифікованої вуглецевої матриці було виконано математичне моделювання при якому визначались основні механічні властивості С-С фрикційного матеріалу 4D структури армування.

При зіставленні значень модулів пружності E_1 , E_2 і E_3 , які у напрямках 1, 2 і 3 повинні бути однаковими, видно, що їх значення при $q=0^\circ$ розрізняються незначно, (рис.

1). Аналіз значень модуля пружності E_3 , які повинні залежати від кута повороту, показує, що його розрахункові значення змінюються в межах сотих часток.

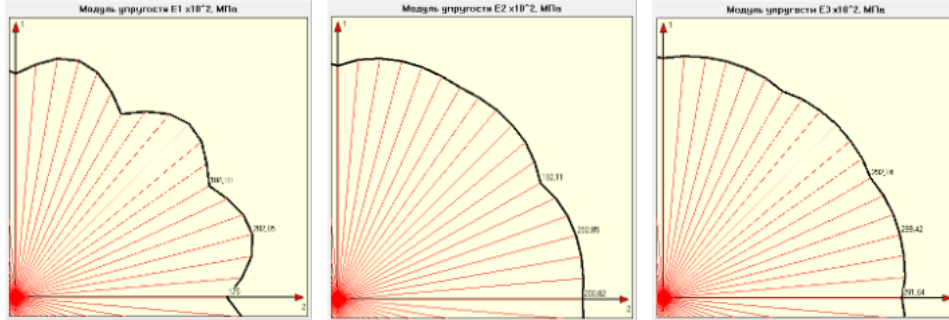


Рис. 1. Зміна модуля пружності $E \cdot 10^2$ МПа, 4-DL структура

Аналіз кругових діаграм зміни модулів пружності E_1 і E_2 від кута повороту координатних осей показує деяку їхню відмінність у діапазоні $12^\circ \dots 25^\circ$. Розбіжність значень у цій області досягає 3...5%. Аналіз значень модулів зсуву G_{12} (рис. 2) показує, що у точці $q=0^\circ$ вони повинні відповідати і бути рівними значенням G_{13} і G_{23} (рис. 2). Справжня похибка розрахунку близька до 3%.

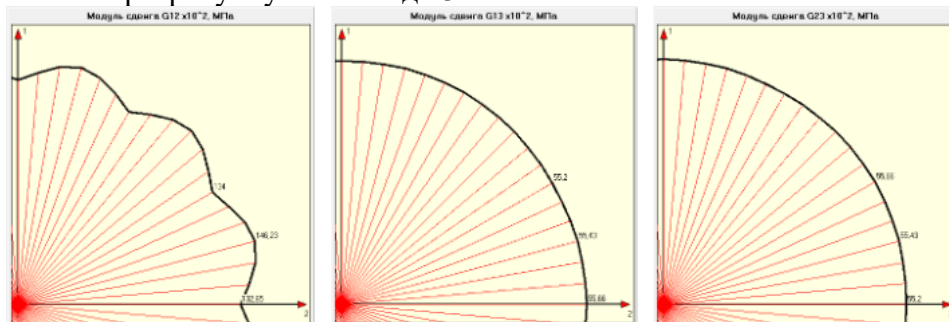


Рис. 2. Зміна модуля зсуву $G \cdot 10^2$ МПа, 4-DL структура

Для коефіцієнта Пуассона ν_{12} (рис. 3) характерна приблизно така сама залежність від кута, як і для модуля зсуву G_{12} на рис. 3 а для коефіцієнтів Пуассона ν_{13} і ν_{23} (рис. 3) – така сама, як для модулів пружності E_1 і E_2 на рис. 1. При цьому величини похибок можна порівняти. Це вказує на системний характер відхилень розрахункових значень механічних характеристик від очікуваних і є результатом розрахункової моделі, що застосовуються, і розрахункових залежностей. Недостатньо зрозумілим є поведінка функції ν_{12} у сфері значень $\theta=20 \dots 70^\circ$.

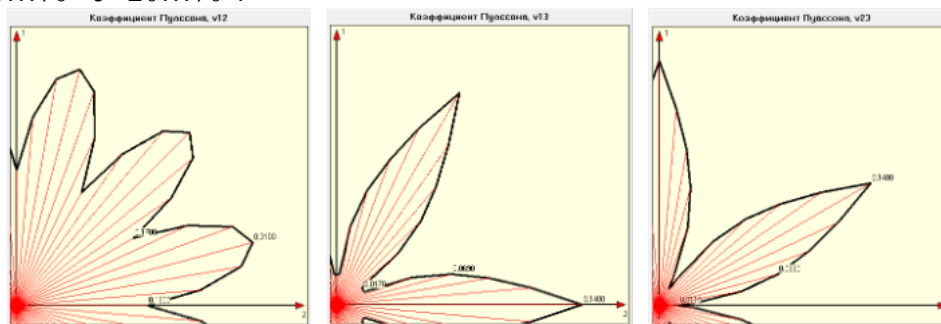


Рис. 3. Зміна коефіцієнта Пуассона ν , 4-D структура

Отже, проведений аналіз показує, що з розрахунку пружні характеристики просторово армованого матеріалу – модулі пружності, модулі зсуву і коефіцієнти Пуассона може бути розраховані з похибкою порядку 5...10%. Причому величина похибки зменшується зі збільшенням абсолютних значень параметра, який визначається.

ВИЗНАЧЕННЯ ТИПУ ЛІТІЙ-ІОННИХ КОМІРОК ДЛЯ ПРОМИСЛОВОГО МАНЕВРОВОГО АКУМУЛЯТОРНОГО ЛОКОМОТИВУ

^{1,2}Качан А.В., аспірант

Науковий керівник: ¹Рябов Є.С., к.т.н., с.н.с., доц.

¹Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна

²ТОВ «Миколаївський тепловозремонтний завод», м. Миколаїв, Україна

The creation of an industrial shunting battery locomotive is considered. The need to take into account operating modes when determining the locomotive and energy storage parameters is shown. It is established that for long-term operation of a battery locomotive, it is advisable to use lithium-titanium-oxide cells and lithium-iron-phosphate cells with a large number of discharge and charge cycles.

На промислових підприємствах залізничний транспорт використовується у багатьох виробничих процесах, а також забезпечує різні операції з подачі вагонів на підприємства та формування составів для їх передачі на станцію відправлення. Для виконання таких операцій використовуються серійні маневрові тепловози. Аналіз умов експлуатації показує, що в багатьох випадках технічні характеристики цих локомотивів є «надлишковими», зокрема, робота здійснюється з потужністю, яка становить не більше 50% номінальної потужності дизельного двигуна. Це призводить до неефективного використання наявного локомотивного парку та підвищених витрат на його експлуатацію, технічне обслуговування та ремонт. З урахуванням технічного зносу наявних тепловозів необхідна заміна неефективних локомотивів, для чого можуть використовуватися акумуляторні локомотиви. Використання таких локомотивів забезпечує зменшення витрат на енергетичні ресурси та призводить до практично нульових викидів, що відповідає цілям декарбонізації багатьох підприємств. На сьогодні акумуляторні локомотиви виготовляються серійно і доступні для комерційної експлуатації.

Аналіз режимів роботи локомотивів, які виконують маневрові операції на вітчизняних підприємствах, показує, що рух здійснюється з дотичною потужністю, яка не перевищує 300 кВт, а загальне споживання енергії за зміну тривалістю 12 годин складає близько 700 кВт. Для отримання вказаних параметрів потужність накопичувача енергії має становити близько 350...400 кВт, а ємність – близько 1200 кВт·год. При розрахунку ємності враховано, що від накопичувача енергії отримують живлення як тяговий електропривод, так і допоміжні системи. При визначенні ємності враховано деградацію накопичувача енергії за термін використання, вплив режимів заряду/розряду, температури тощо.

При створенні накопичувача енергії можливе використання різних літій-іонних комірок. У табл.1 наведено результати розрахунків електричних та масо-габаритних показників накопичувача енергії з найбільшою 850 В.

Таблиця 1 – Розрахункові параметри накопичувача енергії для промислового маневрового акумуляторного локомотиву

Параметр	Toshiba SCiB 20Ah	EVE MB30	CALB L148F88A	Samsung SDI94
Тип елементу	LTO	LFP	LFP	NMC
Ємність, кВт·год	1209	1209	1252	1253
Потужність, кВт	1129	605	1252	834
Кількість комірок	26598	1235	4446	3621
Маса комірок, кг	13,5	6,9	7,2	7,6
Об'єм, необхідний для розміщення комірок, м ³	7,1	3,2	3,5	3,5
Мінімальна напруга, В	731	785	781	671

Оскільки різні комірки мають різний термін служби, то з часом необхідно виконувати їх заміну. Тому необхідно оцінювати загальну вартість комірок за термін використання локомотиву. Вартість супутніх робіт, які необхідно виконувати при заміні комірок, не враховується (очевидно, що вона буде значно нижчою за вартість комірок). На рис.1 наведено розрахункову вартість комірок для накопичувача акумуляторного локомотиву за період експлуатації, рівний 24 роки (прийнято для зручності розрахунків).

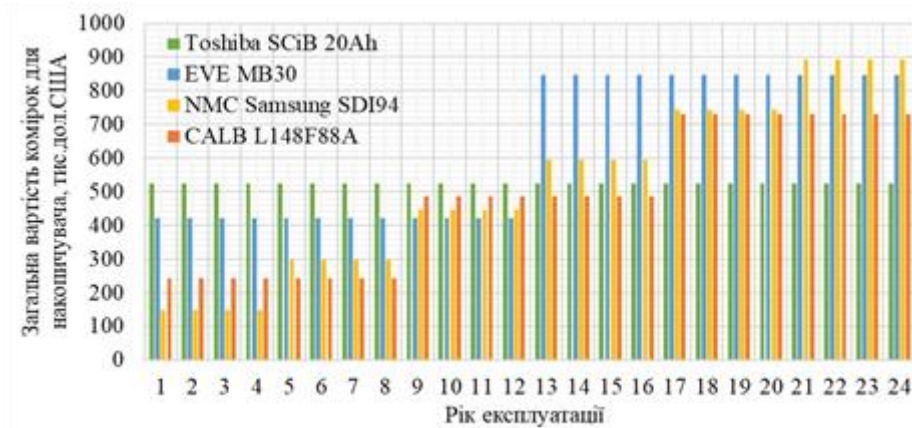


Рисунок 1 – Оцінка вартості комірок за роками

З рис.1 слідує, що найменшу вартість комірок для накопичувача при його експлуатації протягом 17...24 років матимуть LTO-комірки Toshiba. Загальна вартість решти комірок буде вищою. Однак витрати на придбання цих LTO-комірок припадають одразу на перший рік і вони займають найбільший об'єм та мають високу масу, що може викликати певні труднощі при компоновці обладнання.

При експлуатації локомотиву накопичувача протягом 13...16 років можливе застосування LTO-комірок Toshiba та LFP-комірок CALB, вартість яких приблизно однакова. Для решти комірок їх вартість вища. У перший рік на придбання комірок будуть найнижчими при LFP-комірках CALB.

При експлуатації локомотиву у період 9...12 років найнижчі витрати на комірки будуть при LFP-комірках EVE.

При експлуатації накопичувача менше 8 років доцільним є використання LFP-комірок CALB.

Враховуючи наведені вище результати можна зробити висновок, що для нового локомотиву, для якого нормативні терміни експлуатації перевищують 25 років, доцільним є використання LTO-комірок. При модернізації наявних локомотивів, у яких ресурс несучих елементів конструкції частково вироблений, доцільним є використання LFP-комірок або LTO-комірок. Ресурс комірок має відповідати терміну служби модернізованого локомотиву.

Таким чином, створення акумуляторного локомотиву потребує визначення режимі його роботи при виконанні маневрових операцій, що дозволяє адаптувати параметри локомотиву до фактичних умов експлуатації. Для визначення параметрів і характеристик накопичувача енергії необхідно врахування термінів його експлуатації, оскільки вони впливають на вибір типу елементів для накопичувача енергії. Проведені розрахунки показують, що при експлуатації акумуляторного локомотиву понад 25 років доцільним є використання LTO-елементів. При менших термінах експлуатації доцільним є використання LFP-комірок (з урахуванням тенденції до зменшення їх вартості) або LTO-комірок.

ОСОБЛИВОСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ ІНВЕНТАРНИХ НАПЛАВНИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗА ВАНТАЖОПІДЙОМНІСТЮ З УРАХУВАННЯМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИКЛИКІВ СЬОГОДЕННЯ

Перепелиця К. М., аспірант, Ключник С.В., к.т.н, доцент

Український державний університет науки та технологій, м.Дніпро, Україна

Постановка проблеми. Вітчизняні інвентарні конструкції для подолання водних перешкод, зокрема наплавні та понтонні мости, відіграють критичну роль у забезпеченні мобільності та логістики в умовах надзвичайних ситуацій, військових дій та при відновленні зруйнованої інфраструктури. Ці конструкції були розроблені відповідно до нормативних вимог та навантажень минулих десятиліть.

Однак, сучасні транспортні засоби (як військові, так і великогабаритні цивільні) значно збільшили свої загальні та осьові навантаження порівняно з розрахунковими параметрами, які закладалися в основу проєктування цих інвентарних засобів. Це створює ризик недостовірної оцінки їхньої фактичної вантажопідйомності та надійності при експлуатації під сучасними навантаженнями.

Мета дослідження. Розробка та наукове обґрунтування комплексної методики перерахунку несучої здатності вітчизняних інвентарних наплавних (понтонних) мостів з використанням сучасних методів інженерного аналізу (зокрема, скінченно-елементного моделювання), для достовірного встановлення їхньої фактичної вантажопідйомності (класу навантаження) та присвоєння відповідного класу мосту за міжнародним стандартом MLC (Military Load Classification).

Результати дослідження. Технічне прикриття об'єктів національної транспортної системи за допомогою наплавних (понтонних) систем мостів сьогодні відіграє ключову роль в її безперервному функціонуванні. Підтримка логістичних шляхів критично важлива як в районах наближених до місць проведення бойових дій, так і в районах з меншою інтенсивністю, для забезпечення безперервності постачання та ефективного функціонування усіх сил і засобів. Сучасні вимоги до наплавних (понтонних) систем мостів полягають у забезпеченні високої надійності, швидконаводимості (мінімального часу розгортання), здатності витримувати сучасні класи навантажень, в тому числі за стандартами НАТО, модульності конструкції та універсальності застосування для формування паромних та мостових переправ. Для виконання цих завдань використовуються штатні-вітчизняні зразки засобів наведення наплавних мостів, такі як НЖМ-56, ПМП в переважній більшості, вони були спроектовані та виготовлені в другій половині минулого століття мають значну експлуатаційну втому та не повній мірі забезпечують вимоги сьогодення.

В залежності від ширини водної перешкоди для її подолання може бути наведений понтонний міст з майна НЖМ-56 довжиною до 531,8 м. Враховуючи те, що в рамках підтримки сил безпеки та оборони України іноземні партнери надають сучасне озброєння та техніку виникає питання щодо її безпечної експлуатації, в тому числі під час подолання нею водних перешкод, тому класифікація понтонного мосту НЖМ-56 за сучасними вимогами військового навантаження MLC забезпечить це. Початковим етапом визначення класу мосту є визначення варіанту довжини мосту, що чинить найбільший вплив на величину зусиль, які виникають під дією тимчасового навантаження. Для дослідження було створено 11 моделей наплавний мостів НЖМ-56 за методикою описаною раніше. Довжина проїзної частини мосту визначена як відстань між зовнішніми гранями крайніх понтонів. Довжина однієї прогонової будови мосту згідно прийнята 6,25 м. В ході визначення критичного варіанту довжини мосту методом ліній впливу в програмному комплексі ЛПРА було розглянуто 11 варіантів довжин руслової частини мосту, наведених у табл. 1. Довжина проїзної частини мосту, наведена в табл. 1., визначена як відстань між зовнішніми гранями крайніх понтонів.

Таблиця 1

Довжина проїзної частини мосту [м]	Кількість блоків довжиною по 37.5 м [шт.]	Кількість прогонів у русловій частині [шт.]	Максимальна ордината лінії впливу за модулем	Відхилення поточного значення від значення попереднього варіанту [%]	Максимальна однозначова площа лінії впливу за модулем	Відхилення поточного значення від значення попереднього варіанту [%]
За згинальним моментом М						
36.65	1	6	5.036	-	53.406	-
49.15	1.33...	8	5.744	+14.1	74.883	+40.2
55.40	1.5	9	5.797	+0.9	79.585	+6.3
61.65	1.66...	10	5.790	-0.1	82.473	+3.6
67.90	1.83...	11	5.678	-2.0	81.435	-1.3
74.15	2	12	5.567	-2.0	79.685	-2.2
111.65	3	18	5.485	-1.5	77.026	-3.3
149.15	4	24	5.485	0	77.570	+0.7
261.65	7	42	5.485	0	77.822	+0.3
374.15	10	60	5.485	0	77.823	>+0.1
486.65	13	78	5.485	0	77.823	0
За поздовжнім зусиллям N						
36.65	1	6	1.942	-	21.296	-
49.15	1.33...	8	2.307	+18.8	30.834	+44.8
55.40	1.5	9	2.388	+3.5	33.836	+9.7
61.65	1.66...	10	2.360	-1.2	34.276	+1.3
67.90	1.83...	11	2.327	-1.4	34.262	>-0.1
74.15	2	12	2.273	-2.3	33.212	-3.1
111.65	3	18	2.249	-1.1	32.223	-3.0
149.15	4	24	2.249	0	32.431	+0.7
261.65	7	42	2.249	0	33.129	+2.2
374.15	10	60	2.249	0	33.137	>+0.1
486.65	13	78	2.249	0	33.137	0

Проведені розрахунки, результати яких були представлені у табл. 1 (Величини внутрішніх зусиль, що виникають під дією тимчасового навантаження), дозволяють кількісно оцінити напружений стан ключових несучих елементів інвентарної конструкції під впливом одиничної сили. Встановлені величини згинальних моментів (М), нормальних зусиль (N) є критичними для верифікації міцності матеріалу та стійкості елементів понтонного мосту. Ці дані слугують вихідною точкою для фінальної перевірки несучої здатності конструкції за граничними станами та є основою для подальшого моделювання. Наступним та вирішальним етапом дослідження стане комплексне моделювання повної конструкції мосту: створення розрахункової моделі довжини мосту на основі даних табл. 1 та геометричних параметрів конструкції буде сформована просторова скінченно-елементна модель ділянки понтонного мосту. Ця модель буде адекватно відображати взаємодію понтонних ланок, стикових з'єднань та прогонових конструкцій. Проводитиметься детальний аналіз НДС моделі в програмному комплексі ANSYS з метою встановлення класу вантажопідйомності, за результатами аналізу НДС будуть визначені максимальні напруження та граничні прогини конструкції. Це дозволить науково обґрунтувати та встановити остаточний Клас Мосту за стандартом MLC (Military Load Classification), що і є головною метою дослідження.

Використання сучасних методів розрахунку та програмних комплексів дозволяє перейти від теоретичної оцінки внутрішніх зусиль до практичного встановлення реальної, безпечної та актуальної вантажопідйомності вітчизняних інвентарних понтонних конструкцій у відповідності до міжнародних стандартів.

Список використаних джерел

- 1 Книга «Наплавний залізничний міст НЖМ-56» технічний опис та інструкція по монтажу, перевезенню, зберіганню та експлуатації.
2. HERNICH M. V. USE OF PROPERTY OF FLOATING BRIDGE NZHM-56 CONSIDERING TODAY'S MILITARY CHALLENGES [Electronic resource] / M. V. HERNICH, S. V. KLIUCHNYK // Bridges and tunnels: Theory, Research, Practice. – 2022. – No. 22. – P. 27–32. – Mode of access: <https://doi.org/10.15802/bttrp2022/268185> (date of access: 07.11.2024). – Title from screen.
3. ДБН В.1.2-15:2009 "Мости та труби. Навантаження і впливи". – [Чинний від 2018-12-05]. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009 – 71 с.
4. АЕР-3.12.1.5/STANAG 2021:2017 (ed. 8) - Military Load Classification of Bridges, Ferries, Rafts and Vehicles.
5. Перепелиця К. М., Ключник С. В. Дослідження елементів понтонного мосту з огляду на сучасні виклики щодо вантажопідйомності. Наука та прогрес транспорту. 2025. № 2. С. 154–164. DOI: 10.15802/stp2025/332774.

ШТУЧНІ НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ: ЗАСТОСУВАННЯ В ДІАГНОСТУВАННІ СИСТЕМ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ

Корда Б. О.

Науковий керівник: д.ф.-м.н., проф. Гаврилюк В. І.

Український державний університет науки та технологій, м.Дніпро, Україна

An analysis of the potential of artificial neural networks for diagnosing railway automation systems is conducted. Typical diagnostic processes implemented using artificial neural networks are discussed. Significant barriers to the implementation of artificial neural networks in the railway industry include ensuring their compatibility with current regulatory requirements and equipment, as well as the "black box" problem, which hinders the certification of such systems.

Штучні нейронні мережі (ШНМ) – це математичні моделі, натхненні роботою біологічних нейронів мозку. Вони здатні навчатися на даних, виявляти складні залежності й узагальнювати інформацію, що робить їх потужним інструментом для задач класифікації, прогнозування та розпізнавання образів. Розвиток глибокого навчання значно розширив можливості ШНМ. Останні десятиліття штучні нейронні мережі нового покоління стали однією з найбільш перспективних галузей сучасної науки та технологій.

Метою даної роботи є огляд можливих напрямків використання штучних нейронних мереж для діагностування систем залізничної автоматики.

Існує декілька різновидів нейронних мереж:

- Багатошаровий перцептрон (MLP) – базова структура з прямим розповсюдженням.
- Згорткові нейронні мережі (CNN) – добре підходять для обробки зображень через локальні зв'язки та ядра згортки.
- Рекурентні нейронні мережі (RNN, LSTM) – обробляють послідовні дані.

Важливими викликами залишаються перенавчання, інтерпретованість моделей, а також велика потреба в даних для навчання.

До переваг ШНМ відносять:

- Відсутність потреби у жорсткому програмуванні (навчання на даних).
- Адаптація до змін зовнішніх умов.
- Ефективна робота з неточними або неповними сигналами.
- Можливість моделювання складних нелінійних процесів.
- Підтримка паралельних обчислень та робота у реальному часі.

До недоліків використання ШНМ відносять:

- Потребу у великих якісних наборах даних.
- Високу обчислювальну складність.
- Складність пояснення логіки прийняття рішень.
- Висока вартість реалізації діагностичних мереж.

Системи сигналізації на залізниці критично важливі для безпеки руху, тому потребують максимально надійної роботи [1]. Через складність сучасних систем традиційні методи діагностики не завжди можуть вчасно виявляти приховані або ранні ознаки несправностей [2, 3]. У таких випадках ШНМ надають значні переваги перед традиційними системами.

Дані залізничної сигналізації – сигнали рейкових кіл, лічильників осей, стрілочних приводів, систем зв'язку тощо – містять складні закономірності. ШНМ здатні їх виявляти й відстежувати навіть мінімальні відхилення, які можуть бути ранніми ознаками майбутніх несправностей [2, 3].

За допомогою ШНМ можна реалізувати типові процеси діагностики, а саме:

- Збір даних (сигнали обладнання, журнали подій, параметри роботи пристроїв).
- Навчання моделі за відмінностями між нормальним функціонуванням та збоями [1].
- Виявлення відхилень параметрів системи в режимі реального часу.
- Класифікація несправностей і визначення типу збою (лінії зв'язку, трансформатори та інші компоненти, живлення, електромагнітні завади тощо) [2, 3].
- Прогнозування із застосуванням RNN та LSTM для оцінки ризику відмов на основі часових тенденцій.

До переваг використання ШНМ для діагностування систем залізничної автоматики можна віднести:

- Можливість раннього виявлення несправностей на стадії їх зародження [2, 3].
- Підвищення безпеки та надійності за рахунок безперервного моніторингу.
- Зменшення витрат на обслуговування завдяки поступовому переходу від планово-попереджувального обслуговування до обслуговування за технічним станом.
- Стійкість до сигналів з сильними завадами (шумами) або неповними даними, що є типовим для залізничної інфраструктури.
- Підтримка обслуговуючого персоналу у складних діагностичних рішеннях.
- Суттєвими перепонами на шляху впровадження ШНМ у залізничну галузь є:
- Забезпечення сумісності з існуючими нормативними вимогами та обладнанням.
- Проблема «чорної скриньки», що ускладнює сертифікацію безпеки таких систем.
- Здоровий консерватизм залізничної автоматики, що дозволяє підтримувати високі стандарти з безпеки руху поїздів.

Також на заваді швидкого використання систем на основі ШНМ є складні умови функціонування систем залізничної автоматики: вплив погодних умов, забруднення, механічних вібрацій від рухомого складу, електромагнітні завади та інше. Попри ці виклики, ШНМ демонструють великий потенціал для підвищення ефективності та безпеки сучасних систем залізничної сигналізації.

Висновки. Проведено огляд можливих напрямків використання штучних нейронних мереж для діагностування систем залізничної автоматики. Визначено типові процеси діагностики, що можуть бути реалізовані за допомогою ШНМ. До переваг використання ШНМ можна віднести можливість раннього виявлення несправностей. Суттєвими перепонами на шляху впровадження ШНМ у залізничну галузь є забезпечення їх сумісності з існуючими нормативними вимогами та обладнанням, проблема «чорної скриньки», що ускладнює сертифікацію таких систем

Література

1. Havryliuk V. Audio frequency track circuits monitoring based on wavelet transform and artificial neural network classifier //2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), – IEEE, 2019, – С. 491-496.

2. Havryliuk V. Detecting of signal distortions in cab signalling system using ANFIS and WPESE //2020 IEEE 4th International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS). – IEEE, 2020, – С. 231-236.

3. Havryliuk V. ANFIS Based Detecting of Signal Disturbances in Audio Frequency Track Circuits //2020 IEEE 2nd International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC). – IEEE, 2020, – С. 1-6.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЧАСТОТИ НА РІВЕНЬ ГАРМОНІК ВИХІДНОГО СТРУМУ

Буряк М. Г.

Науковий керівник: д.ф.-м.н., проф. Гаврилюк В. І.

Український державний університет науки та технологій, м.Дніпро, Україна

The influence of frequency converter parameters on the harmonic level at its output was investigated for the implementation in railway automation systems. The study was conducted using a model developed in LTspice, and Matlab-Simulink. Analysis of the obtained dependences of the total harmonic distortion and harmonic levels on PWM parameters allows to select their rational values.

В системах залізничної автоматики використовуються сигнали з частотами від 25 Гц до 5 кГц з різними типами модуляції, що потребує застосування перетворювачів частоти (параметричних, електронних), синтезаторів, а також генераторів сигналів. Електронні імпульсні перетворювачі з подвійним перетворенням струму достатньо повно описані в літературі і широко використовуються у різних галузях техніки. Вони складаються з випрямляча, блоку постійної напруги з електричним фільтром і автономного інвертора напруги (АІН), що генерує на виході імпульси напруги з широтною імпульсною модуляцією (ШІМ). Імпульсна напруга веде до появи нелінійних спотворень струму на вході і виході перетворювача. Рівень гармонік струму на виході перетворювача залежить від вхідного імпедансу навантаження, а також частоти і коефіцієнтів модуляції ШІМ контролера.

Метою роботи є дослідження впливу коефіцієнтів модуляції ШІМ контролера АІН для систем залізничної автоматики на рівень гармонік струму на його виході. Існуючі результати досліджень не враховують специфіку роботи ПЧ в системах залізничної автоматики і обмежуються тільки визначенням коефіцієнту нелінійних спотворень (THD - Total Harmonic Distortion).

Дослідження проведено на моделі АІН у вигляді H - моста на чотирьох МОП транзисторах, розробленої у програмах LTspice і Matlab-Simulink. Програма LTspice була застосована як спеціалізована програма для моделювання пристроїв силової електроніки з можливістю використання моделей конкретних типів компонентів схеми, що підвищує достовірність результатів. Програма, розроблена в Matlab з підключенням в процесі виконання Simulink дозволила визначити значення гармонік, що необхідні для аналізу з необхідною точністю. Н

Значення імпедансу навантаження інвертора в моделі взято відповідно середньому значенню вхідного імпедансу рейкового кола. В процесі моделювання досліджувалося вплив коефіцієнту модуляції ШІМ і глибини модуляції на рівень гармонік в спектрі вихідного струму АІН. Коефіцієнт модуляції характеризується відношенням частот несучого f_c і модулюючого f_m сигналів $M_f = f_c/f_m$. Глибина модуляції сигналів визначається відношенням амплітуд модулюючого сигналу A_m та несучого A_c сигналу $M_d = A_c/A_m$. Отримані залежності коефіцієнта нелінійних спотворень THD і рівня гармонік у вихідному струмі АІН в інтервалах частот, що відповідають частотам сигналів, що використовуються у системах залізничної сигналізації мають складний характер. Аналіз цих залежностей дозволяє вибрати раціональні значення коефіцієнту модуляції і глибини модуляції ШІМ сигналу.

ЗАХИСТ КОЛЕКТОРА ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ДВИГУНІВ ВІД ПОШКОДЖЕННЯ ДУГОВИМ РОЗРЯДОМ

Торгашов В. Ю., асистент кафедри залізничного транспорту

Національний університет «Львівська політехніка», м.Львів, Україна

This article examines the causes of electric arcing on traction motor commutators and existing methods for detecting them. A method for detecting electric arcing on traction motor commutators has been developed, along with a system for protecting locomotive traction motor commutators from damage caused by electric arcing.

Забезпечення високої надійності та безпеки руху завжди є актуальним в умовах залізниці. Зокрема підвищення надійності електрорухомого складу залізниці потенційно дозволяє зменшити простой та підвищити ефективність роботи залізничного транспорту.

Одним з ключових та найбільш навантажених елементів електровозів є їх тягові електричні двигуни (ТЕД). Вразливим елементом ТЕД є їх щільно колекторний вузол, який через особливості своєї конструкції, а саме наявність рухомих контактних елементів, має підвищену імовірність виходу з ладу.

На електровозах, що експлуатуються в Україні передбачено захист від перевантаження двигунів та боксування колісних пар. Захист саме від виникнення іскріння на колекторі не впроваджувався хоча був би доцільним, наявність іскріння на колекторі найчастіше свідчить про наявність несправності, яка може при подальшій експлуатації призвести до виходу двигуна з ладу.

Існує декілька способів виявити наявність іскріння, які базуються на вимірюванні завад, що виникають під час утворення іскріння. Проте впровадження такого методу в умовах електровоза є досить важким через високу напругу та струми, які протікають в силових колах електровоза.

Авторами пропонується використати іншу ознаку утворення електричної дуги, а саме наявність значної кількості ультрафіолетового випромінювання, яке випромінюється стовбуром розряду. Для фіксації виникнення іскріння на колекторі у корпус двигуна встановлюється фотодіод з платою підсилювача, який перетворює слабкий сигнал з фотодіода на промисловий стандарт 4-20 мА.

Для обробки сигналів та виконання керуючих функцій застосовується ПЛК, на вхід АЦП якого подається підсилений сигнал з фотодатчика. Після фільтрації сигнал аналізується та по його інтенсивності робиться висновок про наявність чи відсутність іскріння в конкретному двигуні.

Впровадження описаної у роботі системи потенційно дозволить покращити економічні характеристики роботи електровозів та підвищити безпеку руху за рахунок завчасного виявлення пошкоджень електродвигунів, які через певний час можуть викликати вихід двигуна з ладу та зупинку поїзда чи навіть пожежу.

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАЛЕВОЇ Й КОМПОЗИТНОЇ АРМАТУРИ ДЛЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Ярухін Ю. Ю., аспірант

Науковий керівник: Ковальчук В. В., к.ф.-м.н., доц.

Національний транспортний університет, м.Київ, Україна

The paper examines the mechanical and operational performance of steel and composite reinforcement used in railway structural elements. Attention is focused on their behavior under dynamic and cyclic loads, typical for track infrastructure, as well as on durability in aggressive environments. Composite reinforcement demonstrates high tensile strength, corrosion resistance, electrical neutrality and improved fatigue performance, which

enhances the service life of sleepers and other concrete components. The study also highlights the specific interaction between composite bars and concrete, the influence on crack development and the need to adapt design methods due to the lower elastic modulus of composites. The findings confirm the potential of composite reinforcement for modern railway applications and outline directions for further research and implementation.

Сучасні залізничні колійні конструкції працюють у складних умовах інтенсивних динамічних навантажень, високих вимог до довговічності та необхідності мінімізації ремонтних втручань. Традиційна сталева арматура, що використовується у шпалах та інших залізобетонних елементах, забезпечує високу міцність, але має ряд обмежень. Найбільш критичними є корозійна чутливість, електрохімічна взаємодія з блукаючими струмами, значна маса та погіршення втомної міцності при тривалому циклічному навантаженні.

Водночас композитна арматура позиціонується як потенційно ефективна альтернатива, однак її застосування в залізничних конструкціях досі обмежене недостатньою кількістю досліджень щодо реальної механічної роботи та довговічності за умов динамічних навантажень. Саме тому виникає потреба у комплексному оцінюванні властивостей сталевих та композитних арматур з урахуванням вимог залізничної галузі.

У дослідженні проаналізовано механічну та експлуатаційну поведінку сталевих й композитних арматур в умовах роботи елементів залізничної колії, які піддаються значним вертикальним, горизонтальним та ударним навантаженням. Особливу увагу приділено тому, як різні типи арматури впливають на жорсткість, міцність та довговічність залізобетонних шпал, перехідних плит та інших конструктивних елементів.

Сталева арматура традиційно забезпечує високу жорсткість та надійну роботу конструкцій у межах пружної деформації. Високий модуль пружності сталі сприяє мінімізації прогинів і забезпечує рівномірний розподіл навантаження. Проте у довгостроковій перспективі сталеві арматури втрачає міцність через корозію, що призводить до зменшення перерізу та зниження несучої здатності конструкції.

Композитна арматура, виготовлена на основі скляних або базальтових волокон, має значно меншу масу та високу міцність на розтяг. Її модуль пружності нижчий за сталевий, що впливає на деформаційні властивості елементів, однак не знижує загальної несучої здатності при правильному проектуванні. Властивості композитів забезпечують стабільність міцності навіть за умов агресивного середовища та зміни вологості.

Залізничні конструкції працюють у режимах повторюваних циклічних навантажень, що супроводжують проходження поїздів. Сталева арматура у таких умовах демонструє поступову деградацію через втому, особливо в місцях концентрації напружень і корозійних пошкоджень.

Композитна арматура, завдяки відсутності металевої основи, є стійкою до корозійного розтріскування й електрохімічного впливу. Експериментальні випробування підтверджують, що композити мають вищу втому довговічність, а їх властивості зберігаються профілю незалежно від тривалості циклічного навантаження. Це позитивно впливає на поведінку шпал у зоні контакту з баластом, де навантаження мають нерівномірний та ударний характер.

Для сталевих арматур характерне надійне зчеплення з бетоном, однак у випадку корозії зчеплення погіршується, що прискорює розвиток тріщин. Крім того, поява корозійних продуктів збільшує локальний тиск на бетон, сприяючи його руйнуванню.

Композитна арматура забезпечує інший характер адгезії завдяки шорсткій або періодичній поверхні, що створює механічне зчеплення з бетонною матрицею. Її хімічна інертність перешкоджає деградації бетону в зоні контакту. Дослідження показали, що елементи з композитною арматурою демонструють кращу тріщиностійкість, а розкриття тріщин відбувається повільніше завдяки рівномірнішому розподілу напружень.

Застосування композитної арматури у залізничних конструкціях забезпечує низку важливих переваг, серед яких підвищення ресурсу залізобетонних шпал у середовищах із

високою вологістю або солоністю, повне усунення негативного впливу блукаючих струмів, зменшення маси конструкцій та полегшення монтажних робіт. Крім того, використання композитів дозволяє істотно скоротити обсяги ремонтів, пов'язаних із корозійним руйнуванням традиційної сталеві арматури. Водночас широке впровадження таких матеріалів потребує адаптації існуючих методик розрахунку, оскільки композити мають нижчий модуль пружності та вимагають урахування специфічних умов роботи в залізничній інфраструктурі.

Таким чином, використання композитної арматури в елементах залізничних конструкцій відкриває можливості для суттєвого підвищення їх довговічності, надійності та стійкості до агресивних зовнішніх впливів. Композити дозволяють мінімізувати корозійні процеси, покращити експлуатаційні характеристики та зменшити витрати на ремонт і обслуговування інфраструктури. Разом із тим упровадження таких матеріалів потребує оновлення розрахункових підходів та адаптації нормативної бази до нових властивостей і умов роботи конструкцій. Отримані результати формують основу для подальшого розвитку технологій застосування композитної арматури у залізничній галузі.

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ПОСЛАБЛЕННЯ ЗБУДЖЕННЯ НА МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА

Архипов О. В., аспірант

Науковий керівник: Незліна О. А., к.і.н., доц.

Національний транспортний університет, м.Київ, Україна

The study examines the dynamic processes that occur when a traction electric motor transitions to the field-weakening mode and returns to the nominal magnetic flux. The main patterns of changes in electromagnetic and mechanical parameters are analyzed, including transient variations in speed, torque, and armature current, which determine the stability of the traction mode. It is shown that the transition is accompanied by nonlinear processes sensitive to the inductance of the windings, load level, and the rate of change of the field current. Modeling results identify zones of increased risk of overloads and oscillations, which require improved control algorithms. The findings form a foundation for developing adaptive and predictive control systems that ensure smooth and safe transitions between excitation modes and enhance the overall efficiency of traction electric motors.

Перехід тягового електродвигуна до режиму послаблення збудження та повернення до номінального потоку супроводжується складними динамічними процесами, які визначають стійкість роботи електропривода, рівень тягових зусиль та теплові режими двигуна. Ці процеси відіграють ключову роль у забезпеченні надійності та ефективності електровозів змінного струму, особливо під час руху на високих швидкостях або при різких змінах навантаження. Аналіз динамічних режимів є необхідною складовою при проектуванні систем керування та алгоритмів регулювання струму збудження.

У межах дослідження розглянуто основні закономірності перехідних процесів у момент зниження струму збудження. Показано, що зменшення магнітного потоку супроводжується зміною електромагнітної сили, що діє в якорі, зростанням проти-ЕРС та відповідним підвищенням швидкості обертання. Однак цей процес не є лінійним: присутні інерційні та електромагнітні затримки, що залежать від індуктивності обмоток, величини навантаження та характеристик мережі живлення. У разі різкого або некоректного переходу можливе надмірне зростання струму якоря, що створює ризик перегріву, прослизання коліс або втрати стійкості тягового режиму.

Особливу увагу приділено аналізу механічних характеристик двигуна у перехідній зоні. Було встановлено, що в момент входу до режиму послаблення збудження відбувається тимчасове зниження електромагнітного моменту, яке має компенсуватися

системою керування. У протилежному випадку виникають коливання швидкості, які можуть призвести до порушення плавності ходу поїзда та негативно вплинути на зчеплення коліс із рейкою. Показано також, що профіль механічної характеристики у перехідній зоні суттєво залежить від величини та швидкості зміни струму збудження.

У дослідженні проаналізовано також зворотний перехід – від режиму послаблення збудження до номінального потоку. Цей перехід супроводжується збільшенням магнітного потоку, зростанням електромагнітного моменту та зниженням швидкості обертання. Надто різкий перехід може викликати стрибкоподібне зростання моменту та порушення стійкості роботи двигуна. Тому важливим є вибір раціональних алгоритмів, які забезпечують плавність та відсутність критичних перенавантажень.

Математичне моделювання перехідних процесів показало, що найсуттєвіші динамічні відхилення виникають у момент входу до глибокої зони послаблення збудження. У цьому режимі електромагнітний момент зменшується швидше, ніж система керування здатна компенсувати втрату тяги, що створює ризик коливань швидкості та нестабільності тягового режиму. Результати моделювання також свідчать, що на характер перехідних процесів істотно впливають індуктивність обмотки, величина навантаження, швидкість зміни струму збудження та чутливість регулятора струму.

Проведений аналіз дозволив визначити основні чинники, що впливають на стійкість перехідних режимів: швидкість зміни струму збудження, індуктивність обмотки, величина навантаження, коефіцієнт зчеплення та параметри регулятора струму. Було визначено, що оптимальний перехід повинен забезпечувати мінімальні відхилення струму якоря та уникати пікових моментів, які можуть спричинити перевантаження двигуна або пробуксовування коліс.

Таким чином, результати аналізу підтверджують необхідність удосконалення алгоритмів керування, які враховують не лише стаціонарні характеристики тягового електродвигуна, а й динамічні процеси, що виникають під час переходів між зонами збудження. Це створює основу для розроблення адаптивних або прогнозних систем керування, здатних забезпечити плавні та безпечні переходи, підвищити ефективність роботи електродвигунів та продовжити їх ресурс.

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ЗАСОБІВ ДІАГНОСТУВАННЯ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ ТЯГОВИХ ПІДСТАНЦІЙ

Цимбал О.С.

Науковий керівник: Друбєцька Т.І., к.т.н., доц., доц. каф. ІСЕ

Український державний університет науки та технологій, м.Дніпро, Україна

The paper examines modern methods and technical tools for diagnosing power transformers of railway traction substations. Traditional scheduled tests, online monitoring techniques, and intelligent condition-monitoring systems are analyzed. The advantages and limitations of various diagnostic approaches, as well as the specifics of their application in the railway sector, are discussed. The study concludes that a comprehensive combination of diagnostic technologies is essential for improving the reliability and energy efficiency of traction substations.

Силові трансформатори тягових підстанцій залізниць є ключовими елементами систем електропостачання, що забезпечують надійну передачу електричної енергії до тягової мережі та рухомого складу. Висока інтенсивність навантажень, часті коливання режимів роботи та специфічні умови експлуатації обумовлюють підвищені вимоги до контролю їх технічного стану. Ефективна діагностика трансформаторів тягових підстанцій є необхідною умовою попередження аварій, продовження терміну служби обладнання та підвищення надійності функціонування залізничної інфраструктури.

Система діагностування обладнання тягових підстанцій може бути умовно поділена на три групи: традиційні регламентні методи, засоби онлайн-діагностики та інтелектуальні системи моніторингу стану. Кожна з них відіграє важливу роль у забезпеченні безперервної та стабільної роботи трансформаторів.

До першої групи належать методи періодичного технічного обслуговування, що виконуються під час оглядів або відключення трансформатора. Ці методи дозволяють оцінити ступінь старіння ізоляції, стан активної частини трансформатора та його придатність до подальшої експлуатації. Однак їх недоліком є необхідність відключення трансформатора від мережі, що може викликати порушення графіка руху поїздів або потребувати резервного живлення.

Друга група – засоби онлайн-діагностики – дозволяють контролювати технічний стан трансформаторів у реальному часі, без припинення подачі електроенергії до контактної мережі. Методи онлайн-діагностики особливо важливі для трансформаторів, які працюють з нерівномірними навантаженнями, значними піковими струмами та часто зазнають динамічних коливань навантаження через графік руху поїздів.

Третьою групою є інтелектуальні системи моніторингу стану силових трансформаторів, які базуються на поєднанні датчиків, цифрових каналів передачі даних та аналітичних алгоритмів. В умовах залізничної галузі такі системи дозволяють своєчасно реагувати на погіршення технічного стану обладнання, запобігати аварійним ситуаціям і мінімізувати простої тягових підстанцій.

Разом із тим існує низка проблем: висока вартість сучасних систем аналізу, необхідність їх інтеграції у діючі підстанції, кадровий дефіцит фахівців з цифрової діагностики та недостатнє впровадження автоматизованих систем у вітчизняній залізничній інфраструктурі. Ці фактори обмежують можливості широкого застосування інтелектуальних методів моніторингу, але підкреслюють необхідність поступової модернізації засобів діагностування.

Висновки. Аналіз існуючих засобів діагностування силових трансформаторів тягових підстанцій показує, що ефективна експлуатація обладнання можлива лише за умови поєднання традиційних регламентних методів, сучасних засобів онлайн-діагностики та інтелектуальних систем моніторингу. Найбільш перспективним напрямом розвитку є перехід до цифрових платформ аналізу технічного стану, що дозволяють прогнозувати розвиток дефектів і оптимізувати технічне обслуговування. Модернізація систем діагностики сприятиме підвищенню надійності тягового електропостачання та забезпечить стабільність роботи залізничного транспорту України.

СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА УКРЗАЛІЗНИЦІ

Роговський В.О.

Науковий керівник: Друбєцька Т.І., к.т.н., доц., доц. каф. ІСЕ

Український державний університет науки та технологій, м.Дніпро, Україна

The abstract addresses the current state of the energy-saving problem in Ukrainian Railways. The key factors influencing the energy efficiency of national railway transport are identified, including the wear of rolling stock, outdated traction systems and substations, insufficient development of energy monitoring, and limited implementation of digital control solutions. Technical, infrastructural, and organizational barriers to adopting energy-efficient technologies are examined. Special attention is given to the digitalization, and the implementation of energy management standards such as ISO 50001.

Енергозбереження є одним з ключових напрямів розвитку залізничного транспорту України. Укрзалізниця входить до переліку найбільших промислових споживачів електроенергії в країні, тому підвищення енергоефективності має значний економічний,

технологічний та екологічний ефект. Сучасний стан проблеми енергозбереження формується під впливом декількох факторів: високого рівня зношеності рухомого складу, застарілих систем тяги, недосконалого технічного обліку енергоресурсів, а також потреби інтеграції сучасних цифрових рішень.

Однією з головних проблем є високий рівень енерговитрат на тягу поїздів. Більша частина електровозів та електропоїздів, які перебувають в експлуатації, була виготовлена ще у 1970–1990-х роках і відзначається низькою ефективністю електричних та механічних систем.

Проблемою залишається і стан тягових підстанцій. Частина з них використовує застаріле обладнання, що має низький ККД, підвищені втрати в трансформаторах та комутаційній апаратурі. Впровадження сучасних перетворювальних комплексів, автоматизованих систем компенсації реактивної потужності та цифрових систем керування дозволило б зменшити втрати енергії та оптимізувати режим роботи мереж.

Ще одним важливим аспектом є недостатній рівень впровадження систем енергомоніторингу. Відсутність точних даних про споживання енергоресурсів у реальному часі ускладнює аналіз ефективності роботи. Сучасні системи енергетичного менеджменту, що широко застосовуються у європейських залізничних компаніях, дозволяють вимірювати витрати енергії по кожному локомотиву та кожній ділянці колії, аналізувати режими руху, виявляти нераціональні витрати та надавати рекомендації машиністам. Важливим напрямом залишається навчання персоналу.

Станом на сьогодні Укрзалізниця реалізує програми модернізації локомотивного парку, оновлення електророзподільних пристроїв та встановлення сучасних приладів обліку. Триває впровадження енергетичного менеджменту відповідно до стандарту ISO 50001, а також створюються цифрові платформи для аналізу споживання енергії. Проте масштаб проблеми вимагає значно швидших темпів модернізації та залучення інвестицій.

Висновки, Сучасний стан проблеми енергозбереження на Укрзалізниці свідчить про значний потенціал для підвищення енергоефективності, але також демонструє серйозні системні обмеження. Головними бар'єрами залишаються зношений рухомий склад, застаріле обладнання інфраструктури та недостатня цифровізація процесів обліку й аналізу енергоспоживання. Для суттєвого скорочення витрат енергії необхідно поєднати технологічні рішення, інфраструктурні заходи та організаційні зміни.

Комплексний підхід дозволить досягти зменшення енерговитрат, скоротити експлуатаційні витрати, підвищити надійність транспортної системи та забезпечити відповідність сучасним європейським стандартам сталого розвитку.

ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОНІТОРИНГУ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ В СИСТЕМАХ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Данак О. Ю., аспірант
Науковий керівник: Стасюк О. І., д.т.н., проф.

Національний транспортний університет, м.Київ, Україна.

The paper analyzes the features of building information support systems for monitoring energy consumption in railway transport. The structure of a computer network for collecting data from traction substations is proposed. It is determined that the implementation of continuous monitoring allows for the identification of unbalance sources and serves as a basis for further optimization of power supply modes.

В умовах постійного зростання вартості енергоресурсів питання точного обліку та аналізу енергоспоживання на залізничному транспорті набуває першочергового значення. Існуючі системи обліку часто працюють автономно і не забезпечують оперативної передачі даних для прийняття рішень у реальному часі. Тому актуальним завданням є

розробка надійного інформаційного забезпечення для систем моніторингу на базі сучасних комп'ютерних мереж.

Метою роботи є аналіз структури інформаційного обміну в системах тягового електропостачання для підвищення ефективності енергозбереження.

Основу пропонованого підходу становить інтеграція вимірювальних пристроїв тягових підстанцій у єдину інтелектуальну комп'ютерну мережу. На відміну від традиційних методів, де дані збираються із затримкою, використання мережевих технологій дозволяє отримувати параметри струму, напруги та потужності в режимі on-line.

Структурно система моніторингу може бути представлена як багаторівнева мережа. Нижній рівень включає датчики та лічильники на фідерах контактної мережі. Середній рівень – це концентратори даних на підстанціях, які здійснюють первинну обробку інформації. Верхній рівень – це сервер диспетчерського центру, де відбувається аналіз режимів споживання.

Важливим аспектом є організація каналів зв'язку. Для забезпечення надійності передачі даних в умовах електромагнітних завад доцільно використовувати захищені протоколи обміну. Це дозволяє сформуванню єдиного інформаційного простору, в якому кожен елемент системи електропостачання (тягова підстанція, пост секціонування) виступає як вузол комп'ютерної мережі.

Наявність такої інформаційної бази є фундаментом для подальшої математичної оптимізації. Аналізуючи накопичені масиви даних про графіки навантажень, можна виявляти ділянки з підвищеними втратами електроенергії та розробляти заходи щодо їх мінімізації.

Таким чином, створення розвиненої системи інформаційного забезпечення моніторингу є необхідним етапом впровадження енергоощадних технологій. Це дозволяє перейти від пасивної констатації витрат енергії до активного керування процесами енергоспоживання.

НАДІЙНІСТЬ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ НЕТЯГОВИХ СПОЖИВАЧІВ ЗАЛІЗНИЦЬ ЗМІННОГО СТРУМУ

Анайко Д. О.

Науковий керівник: Земський Д. Р.

Український державний університет науки та технологій, м.Дніпро, Україна

У сучасних умовах розвитку залізничного транспорту питання забезпечення високої надійності та якості електропостачання нетягових споживачів набуває особливої актуальності.

Нетягові споживачі – це велика й різноманітна група пристроїв, що включає системи зв'язку, сигналізації та централізації, освітлювальні установки, об'єкти інфраструктури станцій, системи приводу стрілок, вентиляційні та технологічні споживачі. Стабільність їх роботи безпосередньо впливає на безпеку руху поїздів, пропускну здатність дільниць та загальну технологічну ефективність залізничного транспорту. Значна частина об'єктів інфраструктури залізниць отримує живлення від ліній ДПР – трифазних систем напругою 27,5 кВ, змонтованих на опорах контактної мережі електрифікованих залізниць змінного струму за принципом «два проводи – рейка».

Така схема живлення, попри свою простоту та розповсюдженість, має низку конструктивних та електромагнітних особливостей, що знижують надійність та якість електропостачання нетягових споживачів.

Основними чинниками, що впливають на надійність та параметри електричної енергії у лініях ДПР, є: гальванічний зв'язок із системою тягового електропостачання; несиметрична структура лінії, поява вищих гармонік унаслідок роботи перетворювачів

рухомого складу; а також неоднорідність довгих фідерних ділянок. Сукупний вплив цих факторів призводить до спотворення лінійних напруг, зростання несиметрії, відхилення від номіналу та підвищення рівня несинусоїдності живлення.

Окремо слід зазначити, що специфіка схемного приєднання тягових підстанцій до мережі електропостачання обмежує можливість паралельного підключення навантаження на три фази.

Погіршення якості електроенергії безпосередньо впливає на надійність роботи електроприймачів: зменшується обертовий момент електродвигунів, зростають втрати потужності, виникають струми зворотної послідовності, прискорюється старіння ізоляції, зменшується ресурс обладнання та підвищується імовірність відмов. У результаті знижується функціональна надійність об'єктів інфраструктури, що є критичними для безпечної роботи залізничного транспорту.

У представленому дослідженні проведено аналіз режимів роботи ліній ДПР у сучасних умовах та визначено показники якості електричної енергії на приймальних кінцях ліній та у точках приєднання понижувальних трансформаторних підстанцій. Виконано оцінку впливу тягових струмів, вищих гармонік, індукованих ЕРС та несиметрії на живлення нетягових споживачів, а отримані результати порівняно з нормами державних стандартів.

Викладено та систематизовано способи забезпечення узгодженої та безпечної паралельної роботи трансформаторів, що мають різні схеми та групи з'єднання обмоток.

Наведений аналіз дозволяє окреслити критичні фактори, що визначають надійність електропостачання, та сформулювати практичні рекомендації для підвищення якості електроенергії у таких мережах.

Результати роботи можуть бути використані для оптимізації режимів роботи тягових підстанцій, модернізації ліній ДПР, впровадження засобів компенсації, фільтрації та симетрування, вибору раціональних схем живлення нетягових споживачів, а також у подальших дослідженнях електромагнітної сумісності на електрифікованих залізницях змінного струму.

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ КАСКАДНИХ ЗБОЇВ У СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ В УМОВАХ ВОЄННИХ ЗАГРОЗ

Проскурняк А. В., аспірант

Науковий керівник: Стасюк О. І., д.т.н., професор

Національний транспортний університет, м. Київ, Україна

The paper addresses resilience assessment of railway power supply systems as critical infrastructure under wartime conditions, when damage to traction network elements may trigger cascading failures. A directed graph model is proposed, where nodes represent substations, feeder points, contact network sections and key consumers, and edges correspond to power lines. Cascading processes are simulated using percolation theory and failure models implemented via Monte Carlo methods for damage scenarios, including targeted attacks on nodes with high centrality. Connectivity indicators and the size of the largest connected component are used to quantify loss of functionality. Numerical experiments show that failures of concentration nodes degrade the operable subgraph. The results help identify critical elements and support decisions on protection, redundancy and digital twin development.

Системи електропостачання залізничного транспорту належать до об'єктів критичної інфраструктури та забезпечують безперервність перевізного процесу. В умовах воєнних дій і гібридних загроз зростає ймовірність цілеспрямованого ураження окремих елементів тягових мереж, що може призводити до каскадних збоїв значної частини

полігона. Традиційні підходи до оцінювання надійності та живучості, орієнтовані переважно на ізолювані відмови, недостатньо описують просторово розподілене поширення відмов у мережі при одночасній дії техногенних і воєнних факторів. Тому актуальним є розроблення математичних моделей, які дозволяють досліджувати каскадні процеси в системах електропостачання залізниць та виявляти їхні найбільш уразливі елементи.

Метою роботи є розроблення та дослідження математичних моделей каскадних збоїв у системах електропостачання залізничного транспорту в умовах воєнних загроз з метою оцінювання стійкості мережі до пошкоджень її критичних елементів та обґрунтування пріоритетів їхнього захисту й резервування.

У роботі системи електропостачання залізниць подано у вигляді орієнтованого графа, де вузлами є тягові підстанції, живильні пункти, секції контактної мережі та основні споживачі, а ребрами - лінії електропередачі та міжоб'єктні зв'язки. Для моделювання каскадних збоїв використано апарат теорії перколяції та ймовірнісні моделі відмов, що реалізуються методами Монте-Карло з багаторазовим прогоном сценаріїв ураження окремих вузлів і груп вузлів. Воєнні загрози враховано у вигляді сценаріїв цілеспрямованого виведення з ладу елементів із найбільшою центральністю. Для аналізу стійкості застосовано показники зв'язності графа, частку збережених функціональних вузлів, довжину найкоротших шляхів та розмір найбільшої зв'язної компоненти.

Числове моделювання на типовому фрагменті тягової мережі показало, що структура системи електропостачання має виражені вузли концентрації потужності, відмова яких призводить до різкого зменшення розміру працездатної частини графа. Порівняння сценаріїв випадкових пошкоджень із цілеспрямованими атаками на вузли з високою центральністю продемонструвало суттєве зростання масштабу каскадних збоїв у разі останніх, навіть за однакової кількості первинних ушкоджених елементів. Виявлено групи підстанцій і живильних ліній, втрата яких формує «вузькі місця» мережі та призводить до відокремлення значних ділянок залізничного полігона від живлення. Отримані результати узгоджуються з практичними уявленнями про вразливість радіально-розгалужених і слабо зарезервованих конфігурацій, а запропонована модель дозволяє кількісно оцінити ефект від різних варіантів резервування та перебудови схеми живлення.

Розроблено математичну модель каскадних збоїв у системах електропостачання залізничного транспорту на основі графового подання мережі та ймовірнісного моделювання поширення відмов. Показано, що за умов воєнних загроз цілеспрямоване ураження вузлів із високою центральністю є значно небезпечнішим за випадкові пошкодження та призводить до різкого зниження зв'язності мережі та втрати живлення на великих ділянках полігона. Визначено множину критичних елементів, які формують «кістяк» стійкості системи електропостачання та мають бути пріоритетними об'єктами для посиленого фізичного захисту, резервування та модернізації. Запропонований підхід може бути використаний як основа для подальшого створення цифрових двійників тягових мереж і комплексної оцінки живучості залізничної інфраструктури.

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ РУХОМОГО СКЛАДУ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Білецька А.В. студентка магістратури
Науковий керівник: Голуб Г. М., к.т.н, доцент

Національний транспортний університет, м. Київ, Україна

The paper examines the issue of automation of monitoring using Internet of Things technology in the field of railway transport. It is determined why the implementation of such systems is a rational solution that guarantees increased productivity and safety of transportation.

У сучасному світі інновації стають ключовим чинником розвитку, що визначає конкурентоспроможність та економічну стійкість держави. Одним із найбільш перспективних напрямів цифрової трансформації є впровадження технологій Інтернету речей (IoT). Завдяки своїм можливостям IoT забезпечує створення інтегрованих розподілених систем, здатних здійснювати збір, обробку та передачу великих обсягів даних у режимі реального часу. Однак такі системи споживають велику кількість енергії, тому перед їх впровадженням варто визначити переваги та доцільність.

Автоматизована система моніторингу – це система, що безперервно збирає дані про стан об'єкта, аналізує та систематизує їх, для подальшого прийняття обґрунтованих управлінських рішень. Однією з ключових задач, які вирішуються за допомогою такої системи, є мінімізація ризиків несправностей і аварійних ситуацій.

В основному у системах технічного обслуговування залізничного транспорту все ж таки досі домінує планово-попереджувальна модель, що передбачає виконання регламентних робіт через фіксовані інтервали часу або пробігу незалежно від фактичного стану вузлів та агрегатів.

Наразі такий підхід має низку недоліків, через недостатню оперативність реагування на критичні зміни технічних параметрів і відсутність можливостей для постійного моніторингу. Натомість система, побудована на принципах IoT, забезпечує аналіз фактичного стану обладнання, ба більше, спрощує процес прогнозування працездатності системи.

Автоматизована система моніторингу технічного стану рухомого складу базується на використанні широкого спектра IoT-пристроїв: вібраційних сенсорів, температурних датчиків, акселерометрів, модулів контролю тиску в пневматичних системах, датчиків зносу деталей та ін. Усі IoT-пристрої інтегруються в єдину екосистему, яка забезпечує бездротову передачу даних через технології NB-IoT, LTE-M, LoRaWAN, Wi-Fi 6 або 5G, залежно від умов експлуатації. Зібрані дані в реальному часі передаються до проміжного шлюзу, де відбувається попередня фільтрація й виявлення аномалій. Після цього інформація надходить до центрального сервера або хмарної платформи для глибокого аналізу.

В цілому, автоматизовані системи забезпечують вищу точність і надійність, оскільки їхня робота базується на ретельних перевірках та точних оцінках, що сприяє прийняттю більш обґрунтованих управлінських рішень.

Більше того, автоматизуючи внутрішній контроль, організації заощаджують час і ресурси, які раніше витрачалися на трудомісткі завдання. А ця підвищена ефективність дозволяє перенаправити ресурси на інші не менш важливі сфери, підвищуючи загальну продуктивність підприємства.

Для можливості відтворення віртуального сценарію застосування технології IoT, варто створити цифрового двійника. Це стає можливим у програмному забезпеченні AnyLogic, адже ця платформа підтримує багаторівневе моделювання, включаючи дискретно-подієві, агентні та системно-динамічні підходи. Створення цифрового двійника допомагає завчасно виявити доцільність впровадження автоматизованої системи, що неабияк заощаджує фінанси та час.

Отже, проведений аналіз засвідчив, що традиційна модель технічного обслуговування вже не відповідає сучасним вимогам до ефективності, точності та оперативності прийняття рішень. На противагу цьому автоматизований моніторинг із використанням технологій IoT забезпечує безперервний контроль технічного стану та своєчасне виявлення відхилень завдяки обробці великих потоків даних у режимі реального часу. Визначені переваги підтверджують доцільність впровадження інноваційних методів моніторингу технічного стану рухомого складу.

КРИТИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ТА ІННОВАЦІЙНІ ВИМОГИ ДО МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

Башуцький І. Я., аспірант

Науковий керівник: Сорока О. О., к.т.н., доц.

Національний транспортний університет, м. Київ, Україна

The railway industry requires highly reliable lubricants that can operate effectively under conditions of heavy loads, temperature fluctuations, and abrasive wear. The wrong choice or use of lubricants can lead to serious technical incidents, including wheel set defects that cause accidents. Therefore, the competent use of specialized lubricants is a key factor in ensuring the safety and durability of rail transport.

Залізнична галузь висуває виняткові вимоги до надійності компонентів, що функціонують в умовах високих динамічних навантажень, екстремальних температурних коливань та постійного абразивного зносу. У цій технічній екосистемі мастильні матеріали виступають не просто витратними елементами, а критично важливими чинниками, що визначають довговічність, безпеку та економічну ефективність залізничного транспорту. Недооцінка специфіки мастил неминуче призводить до катастрофічних наслідків: так, дефекти колісних пар, спричинені неадекватним змащуванням, є причиною 22% усіх технічних інцидентів на залізниці. Компетентний підхід до вибору та застосування спеціалізованих мастильних матеріалів є невід'ємним елементом культури безпеки.

Мастильні матеріали у залізничному транспорті виконують комплекс життєво важливих функцій, що значно перевершують просте зниження тертя. Захист від зносу: формування стійкої масляної плівки (гідродинамічний або граничний режими) між поверхнями, що труться, є ключовим для збільшення ресурсу високонавантажених вузлів. Зниження енергоспоживання: зменшення сили тертя, особливо в зоні контакту колесо-рейка, дозволяє скоротити витрату палива або електроенергії на 5-15%. Захист від корозії: змазки забезпечують протидію окислювальним процесам, значно продовжуючи термін служби металевих компонентів. Відведення тепла: ефективний теплообмін у вузлах тертя запобігає перегріву та термічній деформації деталей. Демпфування вібрацій: гасіння механічних коливань знижує втомне руйнування матеріалів. Герметизація: створення бар'єра проти проникнення забруднень (води, пилу, абразивних частинок) у критичні вузли.

Особливе значення має роль мастил у зменшенні інтенсивності контактно-втомних пошкоджень рейок та коліс. Згідно з дослідженнями Міжнародного союзу залізниць, застосування правильно підібраних матеріалів збільшує термін служби рейок у кривих малого радіусу на 30-40%, що демонструє колосальний економічний ефект.

Експлуатація залізничного транспорту вимагає застосування вузькоспеціалізованих мастил, адаптованих до унікальних умов роботи кожного вузла. Типові комерційні мастила, що використовуються в інших галузях, є неприйнятними для залізничного транспорту. Мастила використовують в різних ключових залізничних вузлах: буксові підшипники – для зниження тертя, відведення тепла, захист від забруднень, збільшення міжремонтного пробігу до 1 млн км; на гребенях коліс – для зменшення зносу при русі у кривих до 60-70%; на бокових поверхнях рейок – для зниження тертя у кривих ділянках колії, що продовжує термін служби рейки на 40%; в тягових редукторах – для захисту зубчастих передач від заїдання, зниження рівня шуму на 3-5 дБ; на стрілочних переводах – для забезпечення рухливості механізмів та стабільної роботи при температурі до -50°C.

Тому, мастила для залізниці повинні відповідати наступному жорсткому набору технічних вимог. Термостабільність: збереження працездатності в надширокому температурному діапазоні (від -60°C до +160°C). Механічна стабільність: стійкість структури до руйнування під впливом інтенсивних вібрацій та ударних навантажень. Водостійкість: високий опір вимиванню при дії атмосферних опадів, снігу та миючих

засобів. Адгезійні властивості: здатність надійно утримуватися на вертикальних та швидкорухомих металевих поверхнях. Високі протизносні характеристики: забезпечення захисних плівок на поверхні тертя.

Типологія залізничних мастил диференціюється залежно від базового складу, типу згущувача та цільового призначення (табл. 1).

Таблиця 1 – Основні групи мастил

Тип мастила	Базовий склад / Згущувач	Ключові присадки	Область застосування
Літієві комплексні	Мінеральне/синтетичне масло + літієвий згущувач	ЕР-присадки, антиокислювальні	Буксові підшипники, тягові редуктори
Полісечовинні (Polyurea)	Синтетичне масло + полісечовинний згущувач	Антиокислювальні, протизносні	Високошвидкісні та високотемпературні підшипники
Рейкові (графітові)	Високов'язке базове масло + графіт / MoS ₂	Адгезійні добавки, полімери	Бокові поверхні рейок у кривих
Гребнезмащувальні	Синтетичне масло + тверді мастила	Компоненти стійкості до вимивання	Гребені колісних пар
Біорозкладні	Рослинні масла + біорозкладні згущувачі	Природні антиоксиданти	Екологічно вразливі зони, стрілочні переводи

Сучасні технології виготовлення мастильних матеріалів істотно вдосконалилися останнім часом, приділяючи основну увагу збільшенню їх ресурсу та здатності ефективно працювати в різних умовах. Полісечовинні (Polyurea) мастила для букс: новітні полісечовинні комплекси забезпечують термін служби до 1 мільйона кілометрів пробігу без заміни в діапазоні температур від -60°C до +160°C. Ці характеристики досягаються завдяки унікальній структурі згущувача, що формує винятково стабільний тривимірний каркас. «Інтелектуальні мастила» (Smart Lubricants): це сучасні мастила, здатні адаптувати свої реологічні властивості до змін умов експлуатації. Наприклад, деякі мастила для гребенів коліс змінюють свою в'язкість при збільшенні температури, забезпечуючи оптимальний захист як у штатному режимі, так і при екстремальних навантаженнях.

Забезпечення надійності та безпеки функціонування залізничного транспорту критично залежить від якості та специфіки мастильних матеріалів. Використання спеціалізованих складів для буксових підшипників, рейок та гребенів коліс не лише запобігає виникненню технічних несправностей, але й забезпечує значний економічний ефект, продовжуючи термін служби рейок на 40% та скорочуючи енергоспоживання до 15%. Перспективи розвитку залізничної трибології пов'язані з подальшим впровадженням високостабільних полісечовинних мастил та інтелектуальних систем змащування, що здатні адаптуватися до динамічних умов експлуатації.

ПОРІВНЯННЯ КОНСТРУКТИВНИХ СХЕМ СПИРАННЯ КУЗОВА ВАНТАЖНОГО ВАГОНА ТА ПОШУК ОПТИМАЛЬНОГО ВАРІАНТУ БІЧНИХ ОПОР

Мартиненко В. І., аспірант

Науковий керівник: Щербина Ю. В., к.т.н., доцент

Національний транспортний університет, м. Київ, Україна

The paper presents results of comparing structural designs for supporting the body of a freight car and searching for the optimal variant for side supports. Operational experience

shows that the existing traditional scheme of supporting the freight car body on bogies does not ensure safe operation of freight cars, which manifests itself in a tendency to self-excitation of swaying vibrations and loss of stability when moving on straight sections of track and on curves with a large radius. This phenomenon has a negative impact on traffic safety and, in some cases, leads to rolling stock derailment, which requires the search for an optimal design option for side supports.

Передача вертикального навантаження від кузова вантажного вагона на ходові частини візків відбувається з використанням двох основних схем. За першою схемою сила ваги від верхньої надбудови вагона на надресорну балку візка передається через підп'ятник. Відповідно до другої схеми передача навантаження від кузова реалізується комбіновано, тобто підп'ятник сприймає навантаження разом з пружними бічними опорами постійного контакту. В цьому випадку бічні опори виконують функцію не лише обмеження перевалки кузова, але і сприймають та передають частину вертикального навантаження навіть в стані його стійкої рівноваги відносно надресорного бруса візка.

Як відомо, в процесі поворотів візка відносно кузова між ковзунами кузова і бічними опорами виникають сили тертя, які перешкоджають цим поворотам, що в результаті призводить до значного зниження звивистого руху. Схема спирання кузова на пружні ковзуни є найбільш характерна для застосування в практиці закордонного вагонобудування. Проте, не зважаючи на наявність значного практичного досвіду використання ковзунів постійного контакту в конструкціях закордонних вагонів складність впровадження цього типу опорних елементів на вагонах вітчизняного виробництва пов'язано з цілим рядом відмінностей зв'язків елементів самих ходових частин. Зокрема, це стосується менш жорстких зв'язків між буксовими вузлами і бічними рамами, а також між бічними рамами і надресорною балкою у вітчизняних візків, що впливає на зменшення жорсткості каркаса візка і значне збільшення перекосу контуру візка в плані при русі вагона.

В теперішній час здійснено комплекс заходів, направлених на пошук раціональних значень параметрів бічних опор та пошук їх оптимальних конструктивних рішень. Одним з важливих питань для вирішення поставленого завдання є визначення раціонального розподілу вертикальних навантажень між підп'ятником вагона і бічними ковзунами. Враховуючи те, що величина навантаження, яка передається на бічні опори визначається лише геометричним положенням кузова відносно надресорного бруса зміна сил тертя в бічних опорах при зміні режиму завантаження вагона буде практично відсутня. Але, при цьому навантаження на підп'ятник, а отже, і момент сил тертя, будуть змінюватись, що призведе до змін сил опору повороту візка під вагоном. Необхідність реалізації конструктивного рішення щодо створення бічних ковзунів має базуватись на можливості змін сил опору при змінах режиму завантаження вагона та пошуку їх оптимальних значень.

Одним з перспективних варіантів конструкції спирання кузова на візок може бути такий, який міститиме пружно-дисипативні елементи, що дозволить збільшити момент опору і забезпечуватиме додаткову жорсткість при поворотах кузова з можливістю створення проти моментів, і повернення у першопочаткове положення.

ТЕОРЕТИЧНА ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ УЛАШТУВАННЯ БЕЗСТИКОВОЇ КОЛІЇ У КРИВИХ МАЛОГО РАДІУСА

Стензя Д.В., аспірант

Науковий керівник: Сорока О. О., к.т.н., доц.

Національний транспортний університет, м. Київ, Україна

Continuous welded track is the modern standard for the construction and operation of railway lines, as it provides increased travel comfort, reduced maintenance costs, longer

intervals between repairs, and increased track reliability. The purpose of this work is to theoretically assess the possibility and conditions for installing continuous welded rail on small-radius curves, taking into account the requirements for strength, stability, temperature conditions, and the interaction of the track with rolling stock.

Безстикова колія є сучасним стандартом будівництва та експлуатації залізничних ліній, оскільки забезпечує підвищений комфорт руху, зниження витрат на утримання, збільшення міжремонтних інтервалів та підвищення надійності колії. Однак застосування безстикової колії у кривих малого радіуса (до 350-300 м, іноді до 250 м) пов'язане з низкою теоретичних та практичних труднощів, що зумовлені додатковими поздовжніми та поперечними силами, впливом температурних деформацій, зміною контактної взаємодії «колесо-рейка» та збільшенням горизонтальних реакцій у конструкції колії.

У кривих малого радіуса на колію діють такі додаткові фактори: підвищені поздовжні сили в рейках – внаслідок обмежених можливостей переміщення рейок у бічному напрямку та збільшення опору підрейкової основи; розвиток кутів заклинювання шпал – зменшує ефективність роботи елементів скріплення та може призвести до втрати стійкості колії; нерівномірність розподілу температурних напружень – у кривих виникають додаткові напруження згину, особливо при діях температур понад нейтральну температуру рейок; зростання поперечних переміщень від руху поїздів – через підвищені горизонтальні сили, що можуть спричинити повзучість рейок або зсув колії; вплив надлишку підвищення зовнішньої рейки – при недостатньому підвищенні зростає навантаження на зовнішню нитку; при надмірному – збільшуються динамічні удари на внутрішню рейку.

Для можливості улаштування безстикової колії у кривих необхідно забезпечити виконання трьох основних умов.

Стійкість колії від звуження або розширення колії. Стійкість визначається: опором баласту поперечним силам, кутом заклинювання шпал, ефективністю скріплень щодо поперечної жорсткості, наявністю протиугонів посиленого типу.

Для кривих малого радіуса рекомендовано застосування: скріплень із підвищеною боковою жорсткістю (типу КБ, W-series, Pandrol Fastclip), додаткового ущільнення баласту, збільшеної довжини шпал.

Обмеження температурних напружень у рейках.

Температурні напруження можна визначити за формулою:

$$\sigma_t = E \cdot \alpha \cdot (T - T_0) \quad (1)$$

де E – модуль пружності матеріалу рейки;

α – коефіцієнт лінійного теплового розширення;

T – фактична температура рейки;

T_0 – нейтральна (закріплена) температура рейки.

Додатково в кривих малого радіуса вводиться поправка на криволінійність:

$$\sigma_{\text{дод}} = \frac{M}{W} \quad (2)$$

де M – згинальний момент, що виникає від горизонтальних сил;

W – момент опору перерізу рейки.

Для рейок типу Р65 у кривих $R < 300$ м значення σ може збільшуватися на 15-25%.

Обмеження поздовжніх переміщень рейок. У кривих малого радіуса поздовжній опір баласту зростає, але загальний характер деформацій стає нерівномірним. Тому, необхідно: використовувати протиугони посиленої серії через 2-4 шпали, посилювати підбірку внутрішньої частини кривої, застосовувати підвищену нейтральну температуру рейок (на 1-2 °С вище, ніж на прямих ділянках).

Критерії можливості улаштування БСК у кривих малого радіуса. На основі теоретичних досліджень можна сформулювати умови, за яких улаштування безстикової колії є можливим:

- радіус кривої $R \geq 300$ м при стандартному підвищенні рейки і типовому скріпленні.
- радіус $R = 250\text{--}300$ м – можливе за умови застосування посиленних скріплень, щільного баластного шару та обмеження швидкості.
- $R < 250$ м – рекомендується індивідуальний розрахунок напружено-деформованого стану; у більшості випадків — улаштування БСК небажане без спеціальних рішень (рейки підвищеної міцності, суцільні плити, жорсткі скріплення).
- температурний режим має забезпечувати безпечну нейтральну температуру монтажу – не нижче $25\text{--}32$ °С залежно від регіону.
- поздовжній опір баласту має бути не менше 12-16 кН/м на нитку.
- впровадження протиугонних пристроїв у кількості не менше ніж у 2-3 рази більше, ніж у прямих ділянках.

Практичні рекомендації для улаштування БСК у кривих малого радіуса:

- використання рейок типу Р65 або UIC60 з підвищеним моментом опору;
- застосування підсиленних шпал залізобетонних типів ШП-1, ШП-2, або моноблочних з підвищеною боковою стійкістю;
- посилення підрейкового баласту та обмеження допустимої нерівності колії;
- використання пружних або жорстких скріплень з великим опором поздовжнім силам;
- проведення додаткового трамбування після укладання колії;
- регулярний контроль температурних напружень і поздовжніх переміщень рейок;
- обов'язкове виконання чисельного моделювання (наприклад, з використанням MBS-систем або програмних пакетів на кшталт Vampire Pro, NUCARS, SIMPACK).

Теоретична оцінка показує, що улаштування безстикової колії у кривих малого радіуса можливе, але потребує комплексного технічного обґрунтування, підсилення конструктивних елементів колії та дотримання спеціальних умов монтажу. Найважливішими критеріями є радіус кривої, температурний режим, поздовжній опір рейкових ниток і тип застосованих скріплень.

Без виконання цих вимог безстикова колія може втратити стійкість, що призведе до дефектів колії, розкриття стиків, викривлення рейок або втрати геометричних параметрів.

Отже, впровадження безстикової колії у кривих малого радіуса є технічно можливим, але потребує детальних інженерних розрахунків, додаткових конструктивних заходів та постійного моніторингу.

VAMPIRE PRO: СУЧАСНИЙ ІНСТРУМЕНТ ДЛЯ ДИНАМІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗУ ЗАЛІЗНИЧНИХ СИСТЕМ

Носулько В. В., аспірант

Науковий керівник: Сорока О. О., к.т.н., доц.

Національний транспортний університет, м. Київ, Україна

In the modern railway industry landscape, there is an increasing demand for high-precision tools to analyze dynamic movement, which allow for the assessment of the safety, efficiency, and reliability of both infrastructure and rolling stock. The VAMPIRE Pro software package, widely utilized in international practice, stands as one of the most adapted and optimized solutions for the dynamic modeling of train behavior during its

movement on the track. It successfully combines the precision of physical models, the simplicity of scenario creation, and the high speed of simulations.

Програмний комплекс Vampire бере початок у 1980-х роках, коли був створений на базі British Rail Research. Сучасні версії (зокрема Vampire Pro) підтримуються компанією AtkinsRéalis та включають суттєві оновлення, що забезпечують відповідність сучасним стандартам аналізу залізничних систем.

Однією з ключових переваг системи є можливість високошвидкісного моделювання. За результатами порівнянь, симуляції у Vampire Pro виконуються приблизно у 10 разів швидше, ніж аналогічні багатотільні моделі (MBS), а створення моделей – у 4 рази швидше завдяки спеціалізованому інтерфейсу та бібліотекам компонентів.

Vampire Pro, наведено на рис. 1, дозволяє моделювати :

- рух поїзда у прямих та кривих ділянках,
- взаємодію коліс та рейок,
- проходження стрілочних переводів,
- вплив дефектів колії на динаміку руху,
- складні сценарії зміни навантаження та швидкостей.

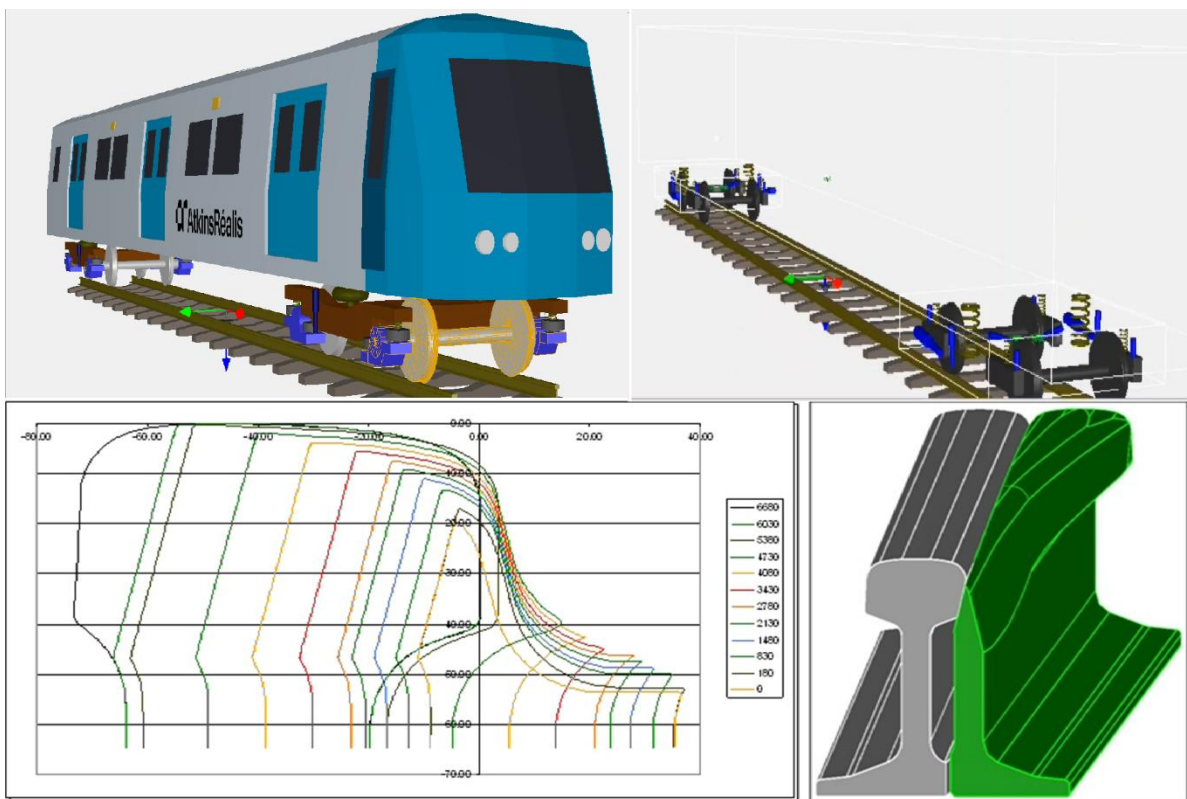


Рисунок1 – Приклади моделювання у програмі Vampire Pro

Система включає понад 30 окремих програмних модулів, серед яких Interactive Vehicle Builder, Line Elements, Contact-модуль та інші. Завдяки підтримці користувацьких підпрограм можна моделювати індивідуальні або експериментальні системи керування.

Vampire Pro широко застосовується у задачах:

- оцінки безпеки руху на високих швидкостях,
- аналізу поведінки рухомого складу у стрілочних переводах,
- моделювання взаємодії «колесо — рейка»,
- прогнозування зносу та планування технічного обслуговування,
- оптимізації конструкцій вагонів та візків,
- аналізу впливу стану колії на динаміку руху.

З огляду на необхідність модернізації інфраструктури, підвищення рівня безпеки та інтеграції до європейського залізничного простору, застосування Vampire Pro може

суттєво прискорити й здешевити процеси проєктування, експертизи та технічного аналізу. Програмний комплекс може бути використаний для:

- моделювання колії 1435 мм при переході на європейський стандарт,
- аналізу стрілочних переводів під високі швидкості,
- оцінки впливу реконструкцій колії на динаміку руху,
- підготовки інженерних рішень для нових швидкісних ліній.

Vampire Pro є сучасним, гнучким та високопродуктивним інструментом для моделювання залізничних систем. Поєднання високої швидкості симуляцій, точності фізичних моделей, широких можливостей побудови сценаріїв та простоти інтерфейсу робить цей продукт одним з найефективніших засобів інженерного аналізу. Його застосування може значно підвищити рівень безпеки та якості технічного проєктування у залізничній галузі. Продукт забезпечує детальний аналіз критичних аспектів, включаючи точне прогнозування зносу коліс і рейок, оцінку динамічної стійкості рухомого складу на високих швидкостях та розрахунок комфорту пасажирів. Особливо цінним є використання VAMPIRE Pro для оцінки та проєктування стрілочних переводів і хрестовин, де необхідно мінімізувати високі ударні навантаження. Програмне забезпечення також слугує важливим інструментом для валідації нових конструкцій та підтвердження їхньої відповідності міжнародним стандартам безпеки (наприклад, TSI). Завдяки розширеним функціям постобробки та візуалізації даних, VAMPIRE Pro дозволяє інженерам не лише виявляти потенційні проблеми на ранніх стадіях, але й оптимізувати стратегії технічного обслуговування протягом усього життєвого циклу залізничної системи.

Секція «Екологічна безпека та охорона праці»
Section «Environmental safety and occupational health»

ANALYSIS OF POTENTIAL ENVIRONMENTAL BENEFITS FROM INTRODUCING A CLEAN TRANSPORT ZONE BASED ON SELECTED AREA IN THE CITY OF POZNAN

Piotr Pielecha

Poznan University of Technology, Faculty of Civil and Transport Engineering, Poland

The scope of this article is to determine the necessity of introducing clean transport zones. It is caused by a successively increasing number of vehicles and an increase in the average age of vehicles running on the roads. These factors negatively affect the air quality due to road emissions. The population inhabiting urban areas is particularly exposed to poor air quality, where the concentration of tall buildings and the absence of free airflow contribute to increased levels of exhaust congestion. To overcome these issues, many authorities in urban centers, particularly in Europe, are choosing to introduce clean transport zones. The main aim of the work is to present the selected environmental benefits, if a potential clean transport zone were introduced on example of Poznan city in Poland. Variety of factors were taken into consideration and a multi-parameter model was created. A precise study area of approximately 2 km² was defined as one of the suburban residential area, with a population of approximately 10,000. The parameters of the model included the intensity of vehicle traffic, the share structure of emissions and the type of propulsion of vehicles moving through the area. The age structure of the vehicles was determined using images of the number plates from the VIDAR ANPR+ camera and the vehicle database. In order to quantify real-world emissions as a function of average speed at a given point, the approximation equations available in the literature were used with division into fulfilling assigned emission standards. The additive model allowed the total mass of a selected compound emitted to be calculated based on the real structure of vehicles moving through the study area. The potential environmental benefits were taken as a percentage reduction in emissions of the individual compounds. On the basis of the data obtained, three different versions of the introduced restrictions were determined. The variants affected respectively 5, 15 and 39% of the vehicles travelling through the study area. In the first case, significant environmental benefits were obtained in the reduction in CO and HC emissions by about 20%, and NO_x emissions by up to half. The second option involved changing the share by changing the oldest vehicles into electric ones. A reduction of several per cent in CO₂ and CO emissions was achieved, HC and NO_x were halved. The last option, banning diesel vehicles from the zone, had the greatest effect with a 98% reduction in NO_x emissions. Study shows that, despite affecting a small group of vehicles, there is a significant impact on lowering NO_x emissions, which in urban conditions also contributes to human health benefits. In the future, the model will be further developed with the introduction of the Euro 7 standard and other areas will be examined.

Keywords: Exhaust emissions; Low emission zone; Emission standards; Environmental benefits; Ecology.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ТА ЕНЕРГОСТІЙКОСТІ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ У ВОЄННИЙ ПЕРІОД

Родіонов М.М.

Науковий керівник PhD, доцент Твердохлебова Н.Є.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна

The article examines the issue of ensuring energy sustainability in the transport sector in Ukraine's frontline regions during wartime. The study identifies key factors that determine the stability of transport energy, including decentralization of energy supply, integration of alternative energy sources, and digitization of monitoring systems.

Поширення глобальних викликів безпеці та взаємозалежність внутрішніх і зовнішніх загроз зумовлюють актуальність пошуку нових підходів і вдосконалення системи захисту від небезпек сучасного світу [1]. Сталий розвиток транспортної енергетики в умовах воєнного стану набуває особливої стратегічної ваги для України. Масштабне руйнування енергетичної інфраструктури в результаті військових дій критично вплинуло на функціонування транспортних систем, порушивши логістику та ланцюги постачання палива [2]. Відновлення енергетичних систем для транспортного комплексу є необхідною умовою функціонування держави та її обороноздатності.

Стан транспортної енергетики у прифронтових регіонах України визначається сукупністю військових, економічних і логістичних факторів, які істотно впливають на функціонування інфраструктури. Найбільш ураженими залишаються Харківська, Донецька, Луганська, Запорізька та Херсонська області, де внаслідок бойових дій зазнали руйнування понад 40% об'єктів паливно-енергетичного комплексу, включаючи автозаправні станції, резервуари зберігання палива, трансформаторні підстанції та тягові підстанції залізниць [3]. Дуже гострою є проблема забезпечення енергетичної стійкості транспорту саме на прифронтових територіях в умовах активних воєнних.

Актуальність теми визначається потребою розроблення рекомендацій, спрямованих на підвищення енергетичної безпеки транспортних систем, їх адаптивності до екстремальних умов і здатності швидко відновлюватися після руйнувань.

Внаслідок знищення або пошкодження енергетичних вузлів спостерігається порушення стійкого енергопостачання транспорту. Це зумовлює необхідність впровадження децентралізованого енергозабезпечення, логістичної мобільності і резервування ресурсів. У регіонах, наближених до лінії фронту, пріоритетним напрямом стає використання мобільних дизель-генераторів, модульних сонячних станцій та біопаливних установок, що дозволяють забезпечити автономність критично важливого транспорту.

Одним із ключових викликів є логістика доставки пального. Розриви у паливних ланцюгах постачання, зумовлені бойовими діями, призвели до необхідності створення регіональних резервів палива та тимчасових сховищ з підвищеним рівнем захисту.

Сьогодні активізується пошук альтернативних джерел енергії для транспорту. Впровадження мобільних дизельних генераторів, модульних сонячних станцій і установок на біопаливі вважається пріоритетом для підтримки критично важливих транспортних операцій. В Україні вже функціонують пілотні проєкти з використання біогазу та водневих паливних елементів на комунальному транспорті у Львові та Києві. Розвиток водневих і біогазових технологій демонструє високий потенціал як для цивільної, так і для військової логістики завдяки їхній безпеці, ефективності та незалежності від централізованих мереж, оскільки дозволяє забезпечити безпечне транспортування енергії без ризику детонації чи масштабних втрат при обстрілах.

Додатковим чинником стійкості транспортної енергетики є розвиток інтелектуальних систем управління (smart-energy). Впровадження цифрових технологій моніторингу дозволяє в режимі реального часу відстежувати стан енергоресурсів, прогнозувати дефіцит і здійснювати перерозподіл у критичних умовах. Такі системи інтегрують цифрові платформи моніторингу, сенсорні мережі та аналітичні модулі на основі штучного інтелекту. Так впровадження технологій енергетичного моніторингу (Energy Management Systems, EMS) дозволяє автоматично відстежувати рівень споживання палива, напругу та навантаження на мережу, а також своєчасно виявляти пошкодження або несанкціоновані втрати енергії. В умовах воєнного стану особливого значення набувають системи дистанційного керування енергопостачанням, які дають змогу у разі загрози або обстрілу швидко здійснювати відключення або перенаправлення енергопотоків без фізичної присутності персоналу. Наприклад, модулі SCADA та IoT-платформи Siemens MindSphere, Honeywell Energy Suite, Schneider EcoStruxure використовуються для оптимізації розподілу електроенергії, збору телеметрії з генераторів і визначення пріоритетів живлення критичних об'єктів транспорту.

У перспективі для українських прифронтових регіонів доцільно розвивати системи енергетичної аналітики з прогнозуванням дефіциту, які базуються на машинному навчанні. Такі моделі можуть обчислювати ймовірність перебоїв постачання, оцінювати залишковий ресурс палива й автоматично пропонувати варіанти перерозподілу між транспортними вузлами.

Отже, стійкість транспортної енергетики у прифронтових регіонах України безпосередньо залежить від поєднання трьох стратегічних напрямів:

1. децентралізації системи енергопостачання транспорту;
2. інтеграції альтернативних джерел енергії;
3. цифровізації моніторингу енергетичних процесів.

Крім того, забезпечення транспортної енергетики у прифронтових регіонах має ґрунтуватися на багаторівневій системі управління, орієнтованій на автономність, технологічну адаптивність і гнучке реагування на виклики безпеки.

Література

1. Твердохлебова Н. Є. Шляхи підвищення рівня техногенної безпеки в Україні. Наука і техніка сьогодні. 2022. Вип. 3 (3). С. 127-135. [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2022-3\(3\)-127-135](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2022-3(3)-127-135)
2. Твердохлебова Н. Є. Комплекс захисту і безпеки експлуатації транспортної інфраструктури у воєнний час / Твердохлебова Н. Є., Семенов Є. О., Євтушенко Н. С. // Науковий вісник ДонНТУ: Всеукр. наук. зб. 2025. № 1 (14). С. 255-265. DOI:10.31474/2415-7902-2025-1-14-255-265
3. Твердохлебова Н. Є. Щодо підвищення рівня техногенної безпеки на залізничному транспорті. Проблеми цивільного захисту населення та безпеки життєдіяльності: сучасні реалії України : матеріали 8-ї Всеукр. заоч. наук.-практ. конф. (28 квітня 2022 р., м. Київ). Київ : НПУ ім. М. П. Драгоманова, 2022. С. 132–133.

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

Гарасимчук Максим Петрович, студент групи 3Т-91

Наукові керівники: Семчук Руслан Богданович, викладач, завіددілення «Тяговий рухомий склад»; Якубовський Ярослав Володимирович, заступник директора з навчальної роботи Львівський фаховий коледж транспортної інфраструктури Національного університету «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

The paper presents an analysis of environmental and occupational safety conditions at industrial facilities with elevated ecological risk. It was found that hazardous factors such as increased pollutant concentrations, noise, and microclimate disturbances negatively affect worker safety and technological stability. Critical fluctuations of pollutants occur in poorly ventilated zones and at the interfaces between equipment and the surrounding air, creating localized ecological hazards. The results emphasize the need for improved monitoring and preventive measures to reduce environmental risks and ensure safe working conditions.

Екологічна безпека є важливою в охороні праці, оскільки вона безпосередньо впливає на здоров'я працівників, запобігаючи шкідливій дії факторів навколишнього середовища, таких як шкідливі речовини, забруднення повітря, води та ґрунту. Запобігання таких екологічних норм знижує рівень виробничого травматизму та професійних захворювань.

Зв'язок між екологічною безпекою та охороною праці. Екологічна безпека тісно пов'язана з охороною праці, оскільки порушення екологічних стандартів призводить до появи шкідливих факторів на робочому місці. Наявність забрудненого повітря,

підвищених рівнів шуму, вібрації або токсичних речовин створює умови, за яких працівники зазнають підвищених ризиків для здоров'я.

Зменшення виробничого травматизму та професійних захворювань. Ефективні заходи екологічної безпеки істотно знижують імовірність нещасних випадків та професійних захворювань. Безпечний рівень забруднюючих речовин, якісний стан вентиляції, контроль за шумом і вібрацією — усе це мінімізує вплив небезпечних чинників на організм працівника.

Стабільність і безпечність робочого середовища. Дотримання екологічних норм забезпечує стабільне та безпечне робоче середовище. Працівники можуть виконувати свої обов'язки без побоювання за стан свого здоров'я, що позитивно впливає на їхню продуктивність, концентрацію та психологічний комфорт.

Економічна вигода. Дотримання вимог екологічної безпеки має й економічний ефект. Підприємства, які інвестують у чисті технології, фільтраційні системи, безпечні матеріали та модернізацію обладнання, знижують витрати на лікування персоналу, компенсації, штрафи та ліквідацію наслідків аварій. Крім того, екологічно безпечне виробництво підвищує репутацію компанії та її конкурентоспроможність.

Екологічні загрози на залізничному транспорті

Основними джерелами екологічних ризиків на залізниці є:

- Аварії з витоками небезпечних вантажів (аміак, дизпаливо, нафта, хімічні реагенти), що можуть спричинити масштабне забруднення довкілля.
- Викиди шкідливих речовин від дизельних локомотивів та промислових підприємств, пов'язаних з обслуговуванням залізничної інфраструктури.
- Шум та вібрація, які негативно впливають як на працівників, так і на довкілля.
- Електромагнітні поля, створені тяговими підстанціями та контактною мережею.
- Парникові гази, що сприяють погіршенню кліматичної ситуації.

Залізничний транспорт також помітно впливає на екосистеми під час будівництва й експлуатації колій: відбувається забруднення повітря, ґрунтів і водних об'єктів, а також порушується природний ландшафт.

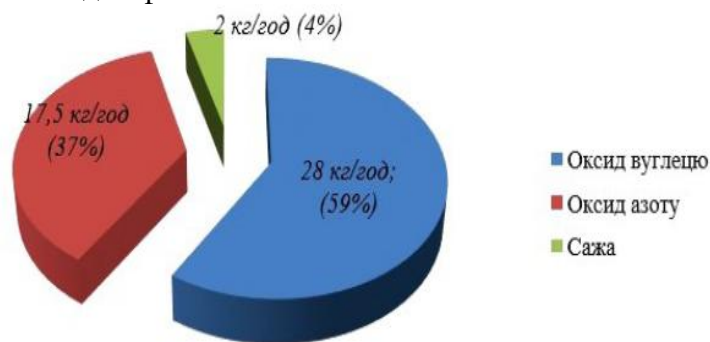


Рис 1. Викид в атмосферу забруднюючих речовин при згоряння дизельного палива одного тепловоза

Аварійні випадки на залізниці та їхній вплив на екологічну безпеку й охорону праці: Аварійні ситуації на залізничному транспорті становлять одну з найсерйозніших проблем як для екологічної безпеки так і для здоров'я працівників. Окрім токсичних проблем, аварії часто спричиняють механічні пошкодження колій, мостів, контактних мереж, систем сигналізації.

Статистика свідчить, що більшість аварій виникають через технічне зношення рухомого складу, порушень правил експлуатації. Висока аварійність підкреслює необхідність в модернізації обладнання та підвищення рівня підготовки персоналу.

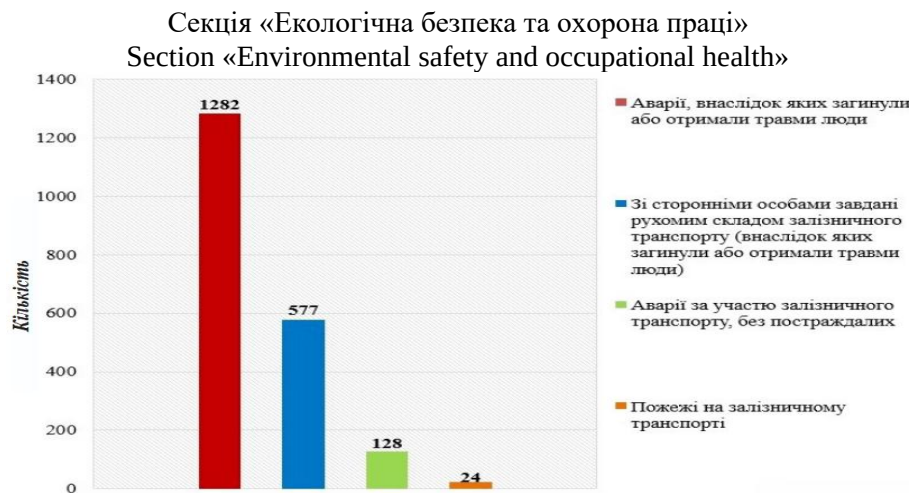


Рис 2. Кількість аварійних ситуацій залізничного транспорту України за 2019 рік.

Висновок: Аналіз вищезазначеного показує, що подальше збільшення обсягів залізничних перевезень неможливе без суттєвого оновлення рухомого та тягового парку «Укрзалізниці». Нині висока ступінь зношеності та технічне застаріння поїздів створюють значні екологічні ризики, що проявляються у зростанні кількості аварій, пожеж і випадків викиду небезпечних речовин. Попри це, залізничний транспорт залишається менш шкідливим для атмосферного повітря порівняно з автомобільним. Додатковим стимулом для модернізації є міжнародні екологічні зобов'язання України, які вимагають підвищення екологічності рухомого складу.

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

Кас'яненко Ярослав Михайлович, студент групи 3Т-91

Наукові керівники: Калитка Іван Степанович, викладач; Якубовський Ярослав
Володимирович, заступник директора з навчальної роботи

*Львівський фаховий коледж транспортної інфраструктури Національного університету
«Львівська політехніка», м. Львів, Україна*

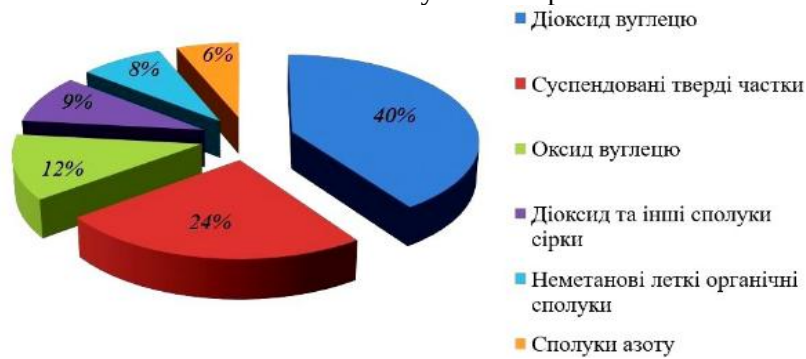
The paper presents an analysis of environmental and occupational safety conditions in railway infrastructure zones characterized by elevated pollution risks. It was found that harmful factors such as emissions from diesel locomotives, soil contamination with petroleum products, noise from rolling stock, and vibration negatively affect both environmental stability and worker safety. Critical accumulations of pollutants occur near locomotive depots, fueling stations, and areas with intensive shunting operations, where insufficient cleaning systems and outdated equipment contribute to localized ecological hazards. The results highlight the need for enhanced monitoring of air, soil, and noise levels, as well as the implementation of modernized mitigation measures to reduce environmental risks and ensure safe working conditions along railway transport corridors.

Екологічна безпека - це стан навколишнього середовища який гарантує безпеку для здоров'я людини та природи, також запобігає погіршенню екологічної ситуації.

Екологічна ситуація на залізниці. Залізничний транспорт істотно впливає на навколишні території, зумовлюючи забруднення повітря, ґрунтів і водних ресурсів. Більшість негативних явищ, що погіршують стан рослинності вздовж залізничних колій, спричинені техногенною діяльністю людини. Серед основних факторів — транспортування небезпечних вантажів (різноманітних відходів, порід тощо), викиди від спалювання дизельного й твердого палива, а також застосування мастильних матеріалів.

Якщо розглядати стан діючого рухомого складу в «Укрзалізниці», основні негативні впливи залізничного транспорту на довкілля, зокрема: викиди забруднюючих речовин, утворення відходів різних типів небезпеки, аварії, спричинені діяльністю залізниці.

Секція «Екологічна безпека та охорона праці»
Section «Environmental safety and occupational health»



У 2020 році залізничний транспорт забезпечив понад 60% вантажообігу та близько 20% пасажирообороту всього транспорту загального користування в Україні. Такі масштаби перевезень супроводжуються значним використанням природних ресурсів і, відповідно, суттєвим рівнем техногенного впливу на довкілля. Очікується, що протягом наступних десятиліть навантаження на залізничний сектор зростатиме. На це вказують положення Національної транспортної стратегії України до 2030 року, яка передбачає економічне стимулювання переходу вантажних і пасажирських перевезень на більш екологічно безпечні залізничні та водні види транспорту. Збільшення обсягів перевезень неминуче посилюватиме вплив на навколишнє середовище, що визначає важливість дослідження питань екологічної безпеки залізничного транспорту України.

Шумове забруднення від залізниці та його вплив на людей. Шумове забруднення є одним із найпоширеніших негативних факторів, пов'язаних із залізничним транспортом. Рух поїздів, робота локомотивів, гальмування, маневри у депо та на станціях створюють сильний і тривалий шум, рівень якого часто перевищує 80–100 дБ. Це значення вище за норму, безпечну для тривалого перебування людини.

Основну небезпеку приймають на себе працівники залізниці головними негативними наслідками для працівників є ризик втрати слуху, хронічна втома та нервові виснаження, стрес та емоційне вигорання.

Отже висновок: залізничний транспорт має помітний техногенний вплив на довкілля, спричиняючи забруднення повітря, ґрунтів, води та шумове навантаження. Зношеність рухомого складу та аварійні ситуації створюють додаткові екологічні ризики і загрозу для здоров'я людей, особливо працівників залізниці. Подальше зростання обсягів перевезень робить необхідною модернізацію інфраструктури, оновлення техніки та впровадження екологічно безпечних технологій. Підвищення рівня екологічної безпеки є важливою умовою сталого розвитку залізничної галузі.

ВПЛИВ СТРЕСУ ПІД ЧАС ВІЙНИ НА БЕЗПЕКУ ПРАЦІ

Ніколін Іван Андрійович, студент групи 4Т-88

Наукові керівники: Яворський Володимир Ярославович, викладач; Якубовський Ярослав Володимирович, заступник директора з навчальної роботи

Львівський фаховий коледж транспортної інфраструктури Національного університету «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

The article examines the impact of war-related stress on occupational safety in the railway transport sector. War creates combined physical and psychological threats for employees, manifesting as chronic stress, emotional exhaustion, sleep disturbances, and decreased concentration. These factors negatively affect professional performance, increasing the risk of accidents, injuries, and violations of safety regulations, particularly in critical areas of railway infrastructure, such as train operations, track maintenance, and rolling stock management. The authors emphasize the importance of integrating psychological aspects into risk management systems, implementing psychological support programs,

resilience training, adapting work schedules, and fostering a culture of trust and open communication to maintain occupational safety and staff efficiency during wartime conditions.

Війна створює комплексну небезпеку для працівників залізничного транспорту, поєднуючи фізичні загрози з потужним психологічним навантаженням, що проникає у всі сфери життя. Постійна тривога через загрозу обстрілів, евакуацію, втрату стабільності та соціальних зв'язків формує високий рівень стресу, який суттєво впливає на професійну діяльність. Хронічна напруга, емоційне виснаження, порушення сну та зниження концентрації стають поширеними серед працівників, що виконують відповідальні функції у зонах воєнних дій або в регіонах під постійною загрозою атак. В таких умовах підвищується ризик травматизму, знижується уважність та самоконтроль, погіршується дотримання правил охорони праці та безпечної поведінки під час експлуатації рухомого складу та обслуговування залізничної інфраструктури.

Психологічні наслідки війни для працівників залізничного транспорту. Період воєнних дій супроводжується масштабним психологічним тиском, який впливає на всіх працівників залізничної галузі — локомотивних бригад, диспетчерів, технічний персонал, ремонтників та обслуговуючий персонал. Вони можуть відчувати хронічний стрес через загрозу життю, втрату колег або близьких, руйнування житла, вимушені евакуації та непередбачувані зміни у роботі. Часто виникають порушення сну, підвищена тривожність, депресивні стани, а в окремих випадках — посттравматичний стресовий розлад (ПТСР). Ці зміни негативно впливають на когнітивні функції: знижується концентрація уваги, оперативна пам'ять, швидкість реагування та здатність приймати зважені рішення. Незважаючи на те, що такі прояви можуть залишатися непоміченими, вони безпосередньо впливають на безпеку руху та робочі процеси.

Вплив стресу на безпеку залізничного транспорту. Стрес у воєнний період є прихованим фактором ризику, що може призводити до порушень правил техніки безпеки на всіх етапах роботи залізниці. Працівники можуть бути менш уважними, діяти імпульсивно, неправильно виконувати маневри або ігнорувати сигнали та показники приладів. Це підвищує ймовірність аварій, травм і технічних збоїв, особливо у сферах, де безпека критично важлива — управління рухом поїздів, обслуговування колії, ремонт і експлуатація рухомого складу. Стрес також негативно впливає на комунікацію в колективі, що може спричинити непорозуміння або конфлікти, а у критичних ситуаціях наслідки помилок можуть бути катастрофічними.

Роль роботодавця та системи охорони праці на залізниці. Система управління охороною праці на залізничному транспорті повинна враховувати психологічний стан працівників як ключовий фактор ризику. Ефективними заходами є запровадження програм психологічної підтримки, консультацій та тренінгів зі стресостійкості, а також адаптація організації праці: гнучкі графіки, ротація персоналу, можливість відпочинку та відновлення.

Керівники повинні вміти розпізнавати ознаки емоційного виснаження та зниження продуктивності, а також реагувати на них своєчасно шляхом перерозподілу обов'язків або надання додаткової підтримки. Важливо формувати культуру довіри та відкритого діалогу, де працівники можуть без страху повідомляти про погіршення стану та звертатися за психологічною допомогою. Особлива увага має приділятися навчанню персоналу, інструктажам з поведінки у кризових ситуаціях та тренуванням з реагування на надзвичайні події.

Висновки. Стрес під час війни є системним ризиком для безпеки залізничного транспорту. Його вплив може залишатися непоміченим, але наслідки для життя, здоров'я та ефективності працівників є серйозними. Інтеграція психологічних аспектів у систему управління ризиками, підтримка стресостійкості, адаптація графіків роботи та забезпечення безпечних умов праці дозволяють мінімізувати негативний вплив війни на персонал. Це, у свою чергу, сприяє збереженню безпеки руху поїздів, стабільності експлуатації залізничної інфраструктури та охорони життя пасажирів і працівників.

НОТАТКИ / NOTES

Матеріали Сімнадцятої міжнародної науково-практичної конференції студентів та молодих вчених
імені Г. М. Кірпи «Сучасні транспортні технології»

Proceedings of the Seventeenth International Student Scientific and Practical Conference of Students and
Young Scientists named after Heorhii Kirpa „Modern Transport Technologies”

НОТАТКИ / NOTES



КАФЕДРА ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ



спеціальність J7 "Залізничний транспорт"

БАКАЛАВРАТ
ФУНКЦІОНАЛЬНІСТЬ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

МАГІСТРАТУРА
ФУНКЦІОНАЛЬНА БЕЗПЕКА ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

АСПІРАНТУРА
ЗАЛІЗНИЧНИЙ ТРАНСПОРТ



залізничники
потрібні
завжди!



НАУКОВЕ ВИДАННЯ

МАТЕРІАЛИ

**17-ї Міжнародної
науково-практичної конференції
студентів і молодих вчених
імені Георгія Кірпи**

«СУЧАСНІ ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ»

За підтримки Фонду імені Георгія Миколайовича Кірпи

Львів, 4 грудня 2025 р.

Комп'ютерна верстка та дизайн: Іван Кравець

Підписано до друку 27.12.2025
Формат 60×84¹/₈. Папір офсетний. Друк офсетний
Умовн. друк. арк. 16,2. Обл.-вид. арк. 14,4
Наклад 25 прим. Зам. 251805

Видавець і виготівник: Видавництво Львівської політехніки
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4459 від 27.12.2012 р.

вул. Ф. Колесси, 4, Львів, 79013
тел. +380 32 2584103, факс +380 32 2584101
vlp.com.ua, ел. пошта: vmr@vlp.com.ua