



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

# **ПРОГРЕСИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ**



**Тези 3-ї міжнародної науково-технічної конференції**



**Харків 2025 р.**

3-я міжнародна науково-технічна конференція «Прогресивні технології засобів транспорту», Харків, 03 — 04 грудня 2025 р.: Тези доповідей. —Харків: УкрДУЗТ, 2025. — 161 с.

Збірник містить тези доповідей науковців закладів вищої освіти України та інших країн, підприємств транспортної та машинобудівної галузей за трьома напрямками:

- проектування, виробництво, сервіс та експлуатація засобів транспорту;
- енергоефективність та енергоменеджмент засобів транспорту і інфраструктури;
- вагони: конструювання та експлуатація.

© Український державний університет  
залізничного транспорту, 2025

## ЗМІСТ

### СЕКЦІЯ

#### ПРОЕКТУВАННЯ, ВИРОБНИЦТВО, СЕРВІС ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

АНАЛІЗ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ БЕЗКОЛЕКТОРНИХ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ ЛОКОМОТИВІВ <i>В. П. Нерубацький</i>	11
УДОСКОНАЛЕННЯ ПІДВ'ЯЗКИ ЛОКОМОТИВІВ ДО ПОЇЗДІВ НА ОСНОВІ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ <i>П.В. Долгополов, П.Р. Пелех, Р.І. Хлєбик</i>	13
ДОСЛІДЖЕННЯ НЕСІВНИХ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ ЕЛЕКТРОВОЗІВ СЕРІЇ ВЛ10 З МЕТОЮ УБЕЗПЕЧЕННЯ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ <i>О.В. Фомін, П.М. Прокопенко</i>	15
USE OF OZONATION IN THE EXHAUST GAS RECIRCULATION SYSTEM OF ICE <i>О.О. Steblyuk, L.S. Orlovsky, О.О. Lymar, D.D. Marchenko</i>	17
FACTORS CONSIDERED WHEN ASSESSING WEAR OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE CYLINDERS <i>I.S. Okhrimenko, A.O. Oliynyk, О.О. Lymar, D.D. Marchenko</i>	19
STATUS AND DEVELOPMENT TRENDS OF SYSTEMS FOR MONITORING OPERATING MODES OF DIESEL POWER PLANTS <i>V.V. Laskovy, D.G. Karpenko, О.О. Lymar, D.D. Marchenko</i>	21
ВПЛИВ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ТА МОРФОЛОГІЇ ГРАФІТУ НА ТЕПЛОВІ ТА ФРИКЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ЧАВУННИХ ГАЛЬМІВНИХ КОЛОДОК ДЛЯ РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦІ <i>С. О. Плітченко, І. О. Вакуленко, Т. В. Калініна</i>	23
SOFTENING METAL OF THE ROLLING SURFACE RAILWAY WHEEL UNDER THE ACTION OF ELECTRIC CURRENT IMPULSES <i>І. О. Vakulenko, S. O. Plitchenko, Kh. Asgarov</i>	25
МОДЕЛЮВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО АУДИТУ ПНЕВМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ <i>Ю. Є. Калабухін, А. Л. Сумцов</i>	27

ПАРАДИГМА ПРОЄКТУВАННЯ ТА КЕРУВАННЯ РІЧСТАКЕРАМИ НОВОГО ПОКОЛІННЯ <i>Д. М. Ніколаєнко, С. І. Лисак, А. Д. Мацибура, М. М. Балака</i>	29
ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРЕХІДНОГО СТРУМУ НУЛЬОВОЇ ПОСЛІДОВНОСТІ В РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ СЕРЕДНЬОЇ НАПРУГИ З РЕЗОНАНСНО-ЗАЗЕМЛЕНОЮ НЕЙТРАЛІЮ <i>Ю.О. Семененко, О.Г. Серета, О.І. Семененко, О.Д. Семененко</i>	31
БАГАТОШАРОВІ ПОКРИТТЯ: СТРУКТУРА, ВЛАСТИВОСТІ ТА ВИБІР МАТЕРІАЛІВ <i>Ю.В. Широкий, Ю.О. Сисоєв, Ю.О. Семененко, О.Д. Семененко</i>	33
ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ЗНОСІВ ЗУБЦІВ І ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ТЯГОВИХ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ <i>В.І. Мороз, О.А. Логвіненко, В.І. Громов</i>	35
ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ ЯКОСТІ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ <i>Ю.В. Верещака, Г.Л. Комарова</i>	37
СИСТЕМИ ЗАРЯДУ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ: КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ТОПОЛОГІЯ <i>В.О. Ярута</i>	39
ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ ЗМІН ХОДОВОЇ СИСТЕМИ ТРАКТОРІВ НА ПОКАЗНИКИ ПРОХІДНОСТІ ТА УЩІЛЬНЕННЯ ГРУНТУ <i>Голотюк М. В., Налобіна О. О., Джафарова А. Р.</i>	41
РОЗРОБЛЕННЯ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ТА БАЗИ ПРАВИЛ НЕЙРО- НЕЧІТКОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНОЮ УСТАНОВКОЮ АВТОНОМНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ <i>А.С. Залата</i>	43
ОЗДОБЛЮВАЛЬНО-ЗАЧИЩУВАЛЬНА ОБРОБКА ДЕТАЛЕЙ У ВІБРАЦІЙНО-ВІДЦЕНТРОВІЙ УСТАНОВЦІ <i>М. В. Пікула</i>	45
НАПРЯМКИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГАЛЬМОВИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОЇЗДІВ <i>Герасименко О.В., Федик М.Д., канд. техн. наук Сумцов А.Л</i>	47

ЗАХИСТ ЖИТЛОВИХ ТЕРИТОРІЙ м. ПІДГОРОДНЄ ВІД ШУМУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ <i>В.В. Гільов</i>	49
ВПЛИВ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ РЕМОНТУ НА ДЕКАРБОНІЗАЦІЮ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВИКИДІВ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ ТЕПЛОВОЗІВ <i>В.Г. Пузир, А.О. Каграманян, М.Є. Резуненко, О.М. Обозний</i>	51
МОНІТОРИНГ СТАНУ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС ТЯГОВИХ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ РУХОМОГО СКЛАДУ В ЕКСПЛУАТАЦІЇ <i>С.В. Бобрицький, О.О. Анацький, Є.Ю. Бабенко, Ю.Ю. Кіріак</i>	53
ANALYSIS OF THE PERFORMANCE OF GEAR TRANSMISSIONS <i>S. V. Bobrytskyi</i>	55
РОЗРОБЛЕННЯ ІМПОРТОЗАМІННИХ КОМПОНЕНТІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ ТЕПЛОВОЗІВ ТЕЗЗ <i>В.Г. Пузир, Ю.М. Дацун, О.М. Обозний</i>	57
ВИЗНАЧЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ МОТОРНОГО ВАГОНУ ЕЛЕКТРОПОЇЗДА <i>Л.В. Овер'янова, К.І. Іванов</i>	59
ADAPTATION OF THE ROLLING STOCK TECHNICAL MAINTENANCE SYSTEM TO OPERATING CONDITIONS BASED ON RISK ASSESSMENT <i>Sumtsov A., Ponomarenko O.</i>	61
ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ МОТОР-РЕДУКТОРНОГО БЛОКУ МОНОМОТОРНОГО ВІЗКА ДЛЯ ПРОМИСЛОВОГО МАНЕВРОВОГО ЛОКОМОТИВУ <i>Є.С.Рябов, А.Є.Прокопов</i>	63
ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ МЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ВИПРОБУВАНЬ <i>Алфьоров О. , Аракелян Т.А</i>	65
РОЗРОБЛЕННЯ ПРОПОЗИЦІЙ З УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РЕМОНТУ ДИЗЕЛІВ ТЕПЛОВОЗІВ <i>А.Л. Сумцов, А.В. Насіблі</i>	67

ВИКОРИСТАННЯ ЕКСПОНЕНТНОЇ СЕРЕДНЬОЇ ДЛЯ ЕКСТРАПОЛЯЦІЇ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ЛОКОМОТИВІВ <i>В.І. Коваленко, О.В. Клименко</i>	68
МЕТОДОЛОГІЯ ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ РОЗМІРІВ ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ НЕСУЧОГО ЕЛЕМЕНТУ РАМИ ОДИНИЦІ РУХОМОГО СКЛАДУ <i>М.В Павлюченков</i>	70
ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ МАШИН ПРИ ВРАХУВАННІ ДІЇ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ <i>О. Макар</i>	71
ЗМЕНШЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ЗНОШЕННЯ ПАР ТЕРТЯ АКСІАЛЬНО-ПОРШНЕВИХ ГІДРОМАШИН В ЕКСПЛУАТАЦІЇ <i>В.І. Коваленко, М.В. Максимов</i>	72
ЗАСТОСУВАННЯ ГІБРИДНОЇ ДВОДИЗЕЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ НА МАНЕВРОВОМУ ТЕПЛОВОЗИ <i>Є.С. Рябов, Б.Х. Овер'янова, Є.В. Лисенко</i>	74
УДОСКОНАЛЕННЯ ТЯГОВОГО ПРИВОДУ ЕЛЕКТРОВОЗИВ ЗА РАХУНОК РЕАЛІЗАЦІЇ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ ТЯГОВОЇ ЗУБЧАСТОЇ ПЕРЕДАЧІ <i>М.В. Максимов</i>	76
РОЗРОБЛЕННЯ ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ БЕЗКОНТАКТНОГО ТЕПЛОВОГО КОНТРОЛЮ КОЛОДОЧНИХ ГАЛЬМ РУХОМОГО СКЛАДУ <i>О.В. Клименко</i>	78
ВИЯВЛЕННЯ ОЗНАК ПОШКОДЖЕНЬ ЕЛЕМЕНТІВ ПІДШИПНИКА КОЧЕННЯ БАГАТОТОЧКОВИМ ЕКСЦЕСОМ У ЧАСТОТНІЙ ОБЛАСТІ ВІБРАЦІЇ <i>К. С. Бондаренко, В. М. Косенко, С. В. Михалків</i>	80
APPLICATION OF THE WEIGHTED SLIDING AVERAGE FOR EXTRAPOLATING THE RELIABILITY INDICATORS OF DIESEL LOCOMOTIVES <i>V. Kovalenko</i>	82
APPLICATION OF ARTIFIKAL NEURAL NETWORK DEVICES FOR EXTRAPOLATING LOCOMOTIVE EFFICIENCY INDICATORS <i>О. Krashenin, V. Kovalenko</i>	84

## СЕКЦІЯ

### ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ І ІНФРАСТРУКТУРИ

- ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ АМІАЧНИХ АБСОРБЦІЙНИХ  
ХОЛОДИЛЬНИХ УСТАНОВОК, ЩО ПРАЦЮЮТЬ НА ТЕПЛОТІ  
ДИМОВИХ ГАЗІВ, У ХАРЧОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ  
*Ю.А. Бабіченко* 86
- ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛООВОГО НАСОСА ДЛЯ ОСУШЕННЯ У  
ФАРМАЦЕВТИЧНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ  
*Ю.А. Бабіченко, А.В. Онищенко* 89
- ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ МАЛОПОТУЖНИХ ВІТРЯКІВ  
НА ДАХУ ПАСАЖИРСЬКОГО ВАГОНУ ДЛЯ ГЕНЕРАЦІЇ  
ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ПІД ЧАС РУХУ  
*Ю.А. Бабіченко, А.В. Онищенко* 91
- ТЕРМОСТІЙКІСТЬ ТА БЕЗПЕКА АКУМУЛЯТОРНИХ СИСТЕМ У  
ВИСОКОПОТУЖНИХ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯХ  
*Р.В. Багач, А.М. Дербін, А.О.Кабанник* 93
- МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ  
ЗМІННОГО СТРУМУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕНЕРГІЇ  
*Р.В. Багач, Р.О. Осінов, А.П.Певчий* 95
- ЦИРКУЛЯЦІЙНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ У БУДІВЛЯХ:  
ОЦІНЮВАННЯ ТА ПРАКТИЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ ВПРОВАДЖЕННЯ  
*Г.В.Біловол* 97
- ВСТАНОВЛЕННЯ ЛІЧИЛЬНИКІВ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ЯК ЗАХІД  
ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ  
*О.В. Василенко* 99
- КОГЕНЕРАЦІЙНІ УСТАНОВКИ: ТЕХНОЛОГІЇ ТА МОЖЛИВОСТІ  
*О.В. Василенко, М.В. Сташко* 101
- ПОЛІПШЕННЯ ПУСКОВИХ ЯКОСТЕЙ ДИЗЕЛЬНОГО  
ГЕНЕРАТОРА ЗА НИЗЬКИХ ТЕМПЕРАТУР ПОВІТРЯ  
*О.І. Воронков, А.М. Авраменко, Д.І. Виговський* 102
- ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЯГОВО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ  
ВИПРОБУВАНЬ РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ.  
*О.О. Анацький, В.О. Косовський, В.М. Тарасенко, А.І. Шеїн* 104

FEATURES OF ASSESSING THE CONDITION OF MARINE HEAT-EXCHANGE EQUIPMENT BASED ON DIGITAL TWIN TECHNOLOGY <i>I. Gritsuk, D. Pohorletskyi, A. Dzyhar, V. Zadorozhnyi</i>	107
РОЗРОБКА МОДУЛЬНИХ ПІДЗЕМНИХ СИСТЕМ ТЕПЛОАКУМУЛЮВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ПЛАВКИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МІСЬКИХ ТЕПЛОМЕРЕЖ <i>А.В. Онищенко</i>	111
СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЗБІРКИ ТА ІНТЕГРАЦІЇ АКУМУЛЯТОРНИХ СИСТЕМ НОВОГО ПОКОЛІННЯ В ЕЛЕКТРОМОБІЛІ <i>В.Д. Латвинський, М.С. Каднай, Д.В. Демченко</i>	113
ЗАСТОСУВАННЯ ЗАСОБІВ ТЕПЛОВІЗІЙНОГО КОНТРОЛЮ ДЛЯ ОЦІНКИ ТЕМПЕРАТУРНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТІВ ЛОКОМОТИВНОГО ГОСПОДАРСТВА <i>В.Г. Пузир, В.С. Мельник</i>	115

#### *СЕКЦІЯ*

#### **ВАГОНИ: КОНСТРУЮВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ**

НОВІ КОНСТРУКЦІЙНІ РІШЕННЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ НА ЕТАПАХ ЙОГО ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ <i>Д. І. Скуріхін, А. О. Ловська, В. Г. Равлюк, А. В. Рибін</i>	117
КОНТРОЛЬ НЕСПРАВНОСТЕЙ ЕЛЕКТРОПНЕВМАТИЧНОГО ГАЛЬМА ПАСАЖИРСЬКОГО ВАГОНА В ЕКСПЛУАТАЦІЇ <i>В. Г. Равлюк, Я. В. Дерев'янчук, К.А Кардаш</i>	118
ВИЗНАЧЕННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ УНІВЕРСАЛЬНОГО ВАГОНА-ПЛАТФОРМИ ДО ПЕРЕВЕЗЕНЬ ДОВГОМІРНИХ ВАНТАЖІВ <i>А. О. Ловська, М. В. Павлюченков, Я. Діжо, М. Блатницький</i>	120
МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОНТРОЛЮ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ НАНОСТРУКТУРОВАНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ ТЕХНОЛОГІЙ <i>Е. С. Геворкян, В. П. Нерубацький, Г. Л. Комарова, Л. В. Волошина, А. І. Сухорученкова</i>	122

АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ НАВАНТАЖЕННЯ БУКСОВИХ ВУЗЛІВ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ <i>І. Е. Мартинов, В. О. Шовкун, О. М. Литовченко, В. В. Коваленко</i>	124
ОПТИМІЗАЦІЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАСОБІВ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ЗА РАХУНОК ВПРОВАДЖЕННЯ НАНОКОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ ДІОКСИДУ ЦИРКОНІЮ <i>Е. С. Геворкян, В. П. Нерубацький, А. О. Каграманян, Г. Л. Комарова, Л. В. Волошина</i>	126
ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕКТРОПОЇЗДІВ ПІСЛЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ <i>В.А. Пархомчук, С.В. Сиваківський, С.Ю. Сапронова</i>	128
АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ГАРМОНІЗОВАНИХ ЄВРОПЕЙСЬКИХ ТА РЕГІОНАЛЬНИХ СТАНДАРТІВ, ПРИЙНЯТИХ ЯК НАЦІОНАЛЬНІ, У СФЕРІ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ <i>О.М. Сафронов, Ж.О. Семко</i>	130
НЕГАТИВНІ НАСЛІДКИ ЗАСТОСУВАННЯ ГАЛЬМІВНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ КОЛОДОК НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТУ УКРАЇНИ (економічні та екологічні аспекти) <i>К.А. Сіренко, В.Л. Мазур</i>	132
СТВОРЕННЯ КУЗОВІВ НА БАЗІ УНІВЕРСАЛЬНИХ ПІВВАГОНІВ ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВАНТАЖІВ З ВИСОКОЮ НАСИПНОЮ ЩІЛЬНІСТЮ <i>А.О. Сулим, О.М. Сафронов, П.О. Хозя., С.О. Столетов</i>	135
АНАЛІЗ ПОШКОДЖЕНЬ ВАГОНІВ-ХОПЕРІВ ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЗЕРНА ПІСЛЯ ЇХ СХОДЖЕНЬ ІЗ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ <i>В.О. Шушмарченко, В.В. Федоров, О.О. Бородай</i>	137
ДОСЛІДЖЕННЯ ЗГИНАЛЬНИХ ДЕФОРМАЦІЙ РАМИ ДРЕЗИНИ ВАНТАЖНОЇ КРАНОВОЇ З МЕТОЮ ВИЯВЛЕННЯ ПРИЧИН ЇХ ВИНИКНЕННЯ <i>О.В. Фомін, М.П. Терещук</i>	139
ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В ІНФРАСТРУКТУРУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ <i>Д. Брусило, І. Гладких</i>	141

КОМПОЗИТНЕ ЗАХИСНЕ ПОКРИТТЯ НА ОСНОВІ ГРАФЕНУ ТА ПОЛІУРЕТАНУ ДЛЯ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ <i>О.В. Фомін, О.С. Козинка</i>	143
ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ВАНТАЖНОГО ВАГОНА З ПОДОВЖЕНИМ СТРОКОМ СЛУЖБИ <i>А.О. Сулим, Хозя П.О., С.О. Столетов</i>	145
ПОШУК ШЛЯХІВ ПОЛІПШЕННЯ АЕРОДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВАНТАЖНОГО НАПІВВАГОНА <i>В. О. Шовкун, Р. С. Мартишко, Є.О. Шульга, О.О. Балашов, В.В. Путренко</i>	147
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕМОНТУ РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАВДЯКИ СУЧАСНОМУ ЗВАРЮВАЛЬНОМУ ОБЛАДНАННЮ <i>І.В. Євницька</i>	148
ІНТЕГРАЦІЯ РЕГІОНАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ УКРАЇНИ ДО ЄВРОПЕЙСЬКИХ ТРАНСПОРТНИХ КОРИДОРІВ ТА МОДЕРНІЗАЦІЯ ВАГОНОГО ПАРКУ <i>І.В.Гузик, В. О. Остафійчук, С.Д. Урсатий</i>	150
ТЕХНОЛОГІЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ З УРАХУВАННЯМ ЇЇ ІНТЕНСИВНОСТІ ВІДМОВ <i>В.Бондаренко, Р.Черняєв, Г. Цидибрага, А.Корабльова</i>	153
ОЦІНКА ВТОМНОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ ГІБРИДНИХ КОНСТРУКЦІЙ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ НА ОСНОВІ РЕЗУЛЬТАТІВ ЧИСЛОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ <i>М.В. Фісун, А.В. Рибін</i>	155
АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ВАГОНОРЕМОНТНИХ ПІДПРИЄМСТВ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРИЧИННО-НАСЛІДКОВОГО АНАЛІЗУ <i>Д. І. Волошин, Л.В. Волошина</i>	156
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ <i>А. В. Труфанова, В. О. Шовкун, Д. В. Фрейліх, А.С. Тельпук</i>	158
ОЦІНЮВАННЯ МІЦНІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕСУЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ КУЗОВА СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО НАПІВВАГОНА <i>А.В. Труфанова, М.М. Дмитренко, І.В. Кравченко, О.А. Жерновенков</i>	160

**ПРОЕКТУВАННЯ, ВИРОБНИЦТВО, СЕРВІС ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ  
ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ**

УДК 621.313

**АНАЛІЗ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ БЕЗКОЛЕКТОРНИХ  
ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ ЛОКОМОТИВІВ**

**ANALYSIS OF THE OPERATIONAL RELIABILITY OF BRUSHLESS  
LOCOMOTIVE TRACTION MOTORS**

*канд. техн. наук В. П. Нерубацький*

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

*V. P. Nerubatskyi, PhD (Tech.)*

*Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Експлуатаційна надійність безколекторних тягових двигунів (БТД) є ключовим чинником забезпечення ефективної та безперебійної роботи сучасних локомотивів. Перехід від колекторних машин до безколекторних обумовлений необхідністю підвищення ресурсу тягового приводу, зменшення витрат на технічне обслуговування та забезпечення більшої стійкості до дестабілізуючих факторів експлуатаційних умов. Зростання обсягів перевезень та потреба в енергоощадних транспортних системах актуалізують завдання комплексного аналізу характеристик надійності БТД з урахуванням їх конструктивних, теплових, електромагнітних і механічних особливостей.

Безколекторні тягові двигуни локомотивів (переважно асинхронні та синхронні з постійними магнітами) характеризуються відсутністю колектора та щіткового апарату, що дає змогу усунути одну з найбільш ненадійних ланок традиційних машин, підвищеною термічною стійкістю обмоток статора, можливістю точного керування моментом і швидкістю завдяки застосування силової електроніки, широким діапазоном регулювання тягових характеристик.

У процесі роботи надійність БТД визначається якістю теплообміну, рівнем електромагнітних навантажень, стійкістю ізоляції, балансуванню ротора, якістю мастила, а також стабільністю методів керування. Інтенсивні тягові режими локомотивів створюють значні теплові та механічні навантаження, що потребує ретельного аналізу параметрів надійності.

Для оцінювання надійності БТД використовуються такі основні показники [1]:

- середній наробіток на відмову, що характеризує середню тривалість безвідмовної роботи двигуна;
- інтенсивність відмов, що відображає частоту виникнення відмов у часі;

- ймовірність безвідмовної роботи, що показує здатність двигуна функціонувати без відмов протягом заданого часу;
- коефіцієнт готовності, що визначає частку часу, коли тяговий двигун перебуває у працездатному стані;
- ремонтна складність, що характеризує необхідні ресурси для усунення відмов та відновлення працездатності.

Високий рівень цих показників є критичним для тягових двигунів, оскільки їхня відмова безпосередньо впливає на роботу локомотива та безпеку руху.

Умовно відмови БТД можна поділити на такі групи:

- електричні відмови – пробої або деградація ізоляції статора, міжвиткові короткі замикання, відмови датчиків температури та струму, порушення роботи систем живлення та перетворювачів;
- механічні відмови – зношення підшипникових вузлів, дисбаланс ротора, пошкодження валу через вібрації або ударні навантаження, ослаблення кріплень активних частин;
- теплові відмови – перегрів обмоток внаслідок недостатньої вентиляції, старіння лакоізоляційних матеріалів, локальні гарячі точки в активній сталі;
- відмови системи керування – некоректні сигнали інвертора, збої алгоритмів прямого керування моментом або векторного керування, помилки у вимірюванні фазних струмів та положення ротора.

Аналіз експлуатаційних даних показує, що найбільшу частку становлять теплові та механічні відмови, оскільки тягові двигуни працюють при високих струмах, значних перевантаженням і в умовах постійної вібрації [2, 3].

Серед ключових факторів впливу слід виділити температурний режим (підвищення температури на кожні 10 °C зменшує ресурс ізоляції вдвічі, що обумовлює необхідність оптимізації тепловідведення), якість перетворювачів (надійність інверторів визначає стабільність роботи двигуна), умови експлуатації локомотива (запиленість, вологість, вібрації та механічні удари негативно впливають на підшипники та ізоляцію), коректність алгоритмів керування (нечітке або нестабільне керування може спричинити зростання електромагнітних навантажень і появу гармонік у струмі), точність діагностики (наявність систем раннього виявлення дефектів – вібраційний моніторинг, контроль температури, аналіз спектра струму – суттєво підвищує загальну надійність приводу).

Для підвищення надійності БТД необхідно застосовувати такі інженерні рішення, як використання високотемпературних ізоляційних матеріалів класу H або N, встановлення підшипників підвищеної вантажопідйомності та з покращеним мастильним ресурсом, впровадження систем активної діагностики (теплова, вібраційна, струмова), оптимізація алгоритмів керування, використання більш ефективних систем охолодження, застосування перетворювачів із високонадійними силовими модулями [4, 5].

Таким чином, експлуатаційна надійність безколекторних тягових двигунів є одним із ключових критеріїв ефективності сучасних локомотивів. Аналіз відмов вказує на те, що основними чинниками зниження надійності є теплові та механічні навантаження, а також відмови силової електроніки. Підвищення

ресурсу БТД вимагає застосування комплексного підходу, який передбачає вдосконалення конструкції двигунів, покращення систем охолодження, впровадження інтелектуальних методів керування й розвинених систем моніторингу технічного стану. Застосування цих підходів дозволяє істотно збільшити напрацювання на відмову, зменшити експлуатаційні витрати і покращити енергоефективність локомотивного парку.

- [1] Martuyushev N. V., Malozyomov B. V., Sorokova S. N., Efremkov E. A., Valuev D. V., Qi M. (2023). Review models and methods for determining and predicting the reliability of technical systems and transport. *Mathematics*. 2023. Vol. 11, Iss. 15. 3317. <https://doi.org/10.3390/math11153317>.
- [2] Nerubatskyi V. P. Investigation of the influence of external factors on the efficiency of locomotive traction motors. *Матеріали XIII міжнародної науково-практичної конференції «Людина, суспільство, комунікативні технології»* (Харків, УкрДУЗТ, 24 жовтня 2025 р.). Дніпро: Середняк Т. К., 2025. С. 217–219.
- [3] Нерубацький В. П. Моніторинг технічного стану безколекторних тягових двигунів завдяки залученню цифрових технологій сьогодення. *Тези доповідей 6-ї міжнародної науково-технічної конференції «Інтелектуальні транспортні технології»* (Харків, УкрДУЗТ, 24–26 листопада 2025 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2025. С. 81–83.
- [4] Papkov A. V., Berezinets N. I., Kireev A. V., Pak V. M. Longevity tests of class-H insulation systems (180°C) in locomotive traction motors. *R. Electrical Engineering*. 2011. Vol. 82. P. 189–191. <https://doi.org/10.3103/S1068371211040134>.
- [5] Nategh S., Boglietti A., Liu Y., Barber D., Brammer R., Lindberg D. A review on different aspects of traction motor design for railway applications. *IEEE Transactions on Industry Applications*. 2020. Vol. 56, Iss. 3. P. 2148–2157. <https://doi.org/10.1109/TIA.2020.2968414>.

**УДК 656.22**

## **УДОСКОНАЛЕННЯ ПІДВ'ЯЗКИ ЛОКОМОТИВІВ ДО ПОЇЗДІВ НА ОСНОВІ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

### **IMPROVEMENT OF LOCOMOTIVE CONNECTING TO TRAINS BASED ON SIMULATION MODELING**

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

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

Важливою умовою ефективної експлуатаційної роботи залізниці є відповідність можливостей залізничної інфраструктури, зокрема ресурсів локомотивного господарства кількості поїздів, що планується пропустити впродовж кожного оперативного періоду (зміни, доби). Недотримання цього балансу може призвести до серйозних затримок перевізного процесу, що веде до збільшення витрат [1]. Стабільність руху поїздів не тільки від колійного розвитку і систем автоматики, а і від експлуатованого парку локомотивів у депо і інших факторів [2].

Тому у даній роботі побудована імітаційна модель у термінах математичного апарату кольорових мереж Петрі, що враховує нерівномірність

перевізного процесу і різномірність транспортних об'єктів на залізничному полігоні.

Визначенні експлуатаційні параметри роботи локомотивів і поїздів в умовах коливань обсягів роботи для оперативного прогнозування критичних ситуацій забезпечення поїздів локомотивами для вчасного прийняття регулювальних мір по недопущенню появи черги поїздів.

На рис. 1 отримані залежності черги поїздів  $N_{оч}$ , що простоюють в очікуванні відправлення через нестачу локомотивів, від кількості поїздів, що прибувають на сортувальну станцію за годину  $N_{приб}$  і експлуатованого парку локомотивів  $M_{лок}$ , що обслуговують базове локомотивне плече.

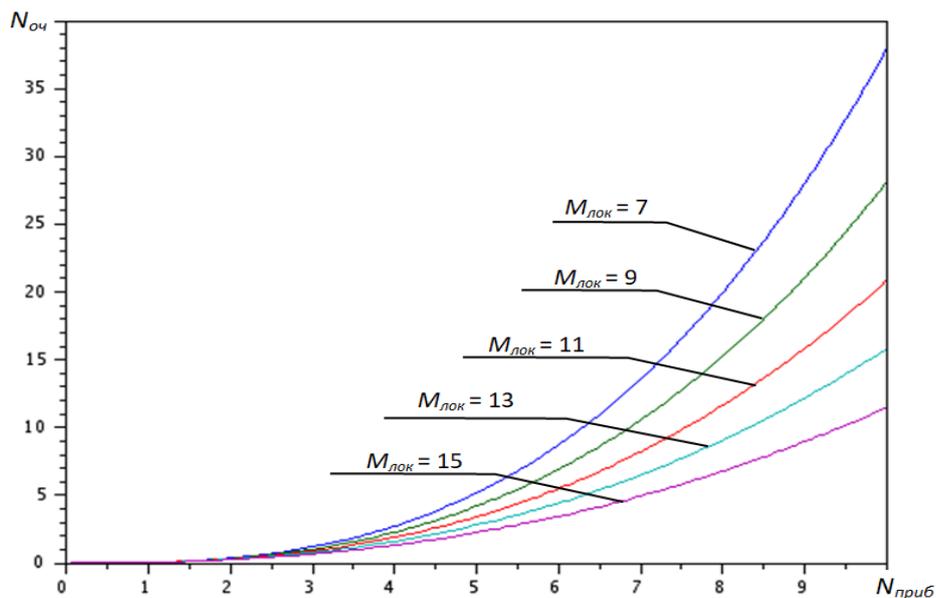


Рис. 1. Залежності величини черги составів на сортувальній станції від поїздопотоку за годину і експлуатованого парку локомотивів

Залежності показують, що занадто інтенсивний поїздопоток, при недостатній кількості локомотивів веде до геометричного зростання черги поїздів.

Реалізація даної моделі дає можливість удосконалити методику визначення числа об'єктів інфраструктури сортувальної станції для обробки поїздів на основі імітаційного моделювання у реальному масштабі часу. Модель дає можливість передбачати критичні ситуації із забезпечення вантажних поїздів локомотивами на станціях формування поїздів за 4-6 год до наступлення такої події.

При удосконаленні автоматизованих робочих місць диспетчерського персоналу відповідними інтелектуальними модулями запропонована технологія дозволить заздалегідь приймати якісні міри з організації роботи локомотивів [3], послідовності формування поїздів, корегування ниток графіку руху вантажних поїздів і графіку роботи локомотивів з метою недопущення простоїв локомотивів і збільшення черги поїздів в очікуванні відправлення.

- [1] Головка Т. В., Долгополов П. В., Ляпін Д. Ю., Демченко І. С. Прогнозування обсягів вагонопотоків пунктів взаємодії з використанням методу Random Forest // 36. Наук. праць Укр. держ. унів. залізн. трансп. 2025. № 212. С. 259–267.
- [2] Долгополов П.В., Гудзенко Р.В. Дослідження проблематики і удосконалення розподілу масових експортних залізничних перевезень вантажів / 5-а міжнародна науково-технічна конференція «Інтелектуальні транспортні технології», Харків, 27–28 листоп. 2024 р.: Тези доповідей. Харків: УкрДУЗТ, 2024. С. 41.
- [3] Долгополов П. В., Трегубчак Д. В. Удосконалення організації поїздопотоків на залізничному полігоні в умовах швидкісного руху. *Збірник наук. праць Укр. держ. унів. залізн. трансп.* Харків: УкрДУЗТ, 2016. Вип.163. С. 25–30.

**УДК 629.4.018**

## **ДОСЛІДЖЕННЯ НЕСІВНИХ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ ЕЛЕКТРОВОЗІВ СЕРІЇ ВЛ10 З МЕТОЮ УБЕЗПЕЧЕННЯ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

### **RESEARCH OF LOAD-BEARING METAL STRUCTURES OF VL10 SERIES ELECTRIC LOCOMOTIVES WITH THE PURPOSE OF ENSURING THEIR OPERATION**

*Доктор техн. наук О.В. Фомін, PhD П.М. Прокопенко  
Національний транспортний університет (м. Київ)*

*O.V. Fomin D.Sc (Tech.), P.M. Prokopenko, PhD (Tech.)  
National Transport University (Kyiv)*

Електровози постійного струму серії ВЛ10 відіграють значну роль у вантажних та пасажирських перевезеннях АТ «Укрзалізниця», при цьому виникає необхідність в забезпеченні подальшої експлуатації поза встановленим строком служби несівних металевих конструкцій цих електровозів спеціальними організаціями.

Станом на теперішній час, загальний парк електровозів постійного струму серії ВЛ10 по залізницям України складає 44 секції, всі вони експлуатуються на Львівській залізниці. На основі діючих Технічних умов забезпечується безпечна експлуатація електровозів серії ВЛ10 зі строком до 50 років з дати побудови локомотива.

Визначено типові місця виникнення дефектів: зони технологічних отворів шворневих брусів рам візків, місця розташування кронштейнів для гасителів коливань кузова, зони зварних швів кутової вставки в місцях з'єднання горизонтального та вертикального листів рами візка.

Для оцінки показників міцності та опору втомі розроблено 3D-моделі, скінченно-елементні та розрахункові моделі рухомого складу. Розрахункові 3D-моделі рам кузовів та рам візків електровозів ВЛ10 створені на основі їх креслеників. Для прикладу приведено 3D-модель рами візка (рис. 1).

На підставі розрахунків за створеними моделями несівних конструкцій електровозу за розрахунковими режимами та з врахуванням положень існуючих нормативних документів [1, 2], досвіду проведення відповідних робіт

[3, 4], було встановлено в конструкціях, що досліджувалися, основні напружені зони та значення діючих еквівалентних напружень. На рис. 2 представлено приклад одної з розрахункових епюр напружень рами візка електровоза ВЛ10.

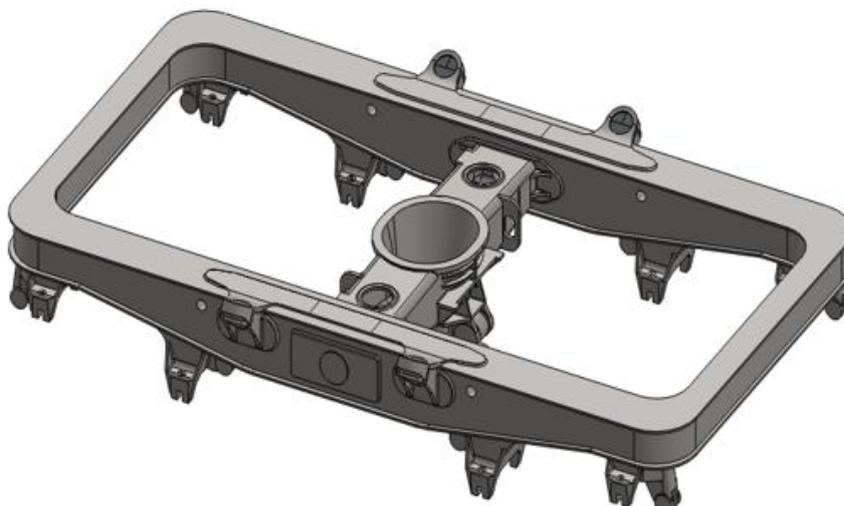


Рис.1. 3D-моделі рами візка електровоза

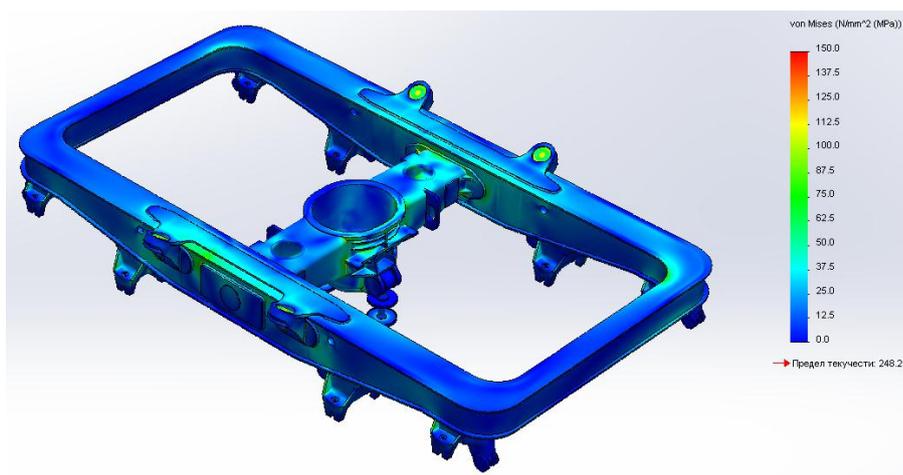


Рис.2. Приклад еквівалентних напружень рами візка електровоза ВЛ10 за режимом Іа

В рамках даного дослідження проведено ходові міцнісні випробування електровозу ВЛ10 №1492 при оцінці опору втомі встановлено імовірні зони виникнення пошкоджень, що підлягають обов'язковому технічному діагностуванню засобами неруйнівного контролю під час виконання регламентних робіт направлених на забезпечення подальшої експлуатації поза призначеним строком служби, а саме:

- місця з'єднання кронштейну гасника коливань з боковиною;
- пришовна зона на верхній полці боковини;

За результатами досліджень несівних конструкцій, визначено уточнений граничний строк служби у 60 років від дати побудови електровоза.

Додатково визначені коефіцієнти запасу опору втомі дослідних місць рам кузова та візків дослідного електровоза згідно [1]. Мінімальне значення

коефіцієнту запасу опору втомі виявлено у зоні зварного з'єднання кронштейну гасника коливань з боковиною та становить  $n = 2,41$ .

[1] Норми розрахунку та оціни міцності несівних елементів та динамічних якостей та впливу на колію екіпажної частини локомотивів залізниць колії 1520 мм., 1998.

[2] Положення про організацію робіт щодо продовження призначеного терміну служби тягового рухомого складу Укрзалізниці (рам візків, головних рам кузовів і несівних кузовів): ВНД 32.007.123-03. – Київ: Міністерство транспорту України, 2002. – 15 с. (Нормативний документ Мінтранса України).

[3] Черняк А.Ю. Модальний аналіз та втомна довговічність рам візків тягового рухомого складу. А.Ю. Черняк, Е.О. Гриндей, П.А. Гриндей. Локомотив інформ. – 2010. – №11. – С. 4-7.

[4] Браславець Ю.В. Відновлення та модернізація ушкоджених конструкцій електровоза ВЛ82М №067. Ю.В. Браславець, О.П. Коломієць, С.В. Кара, П.А. Шевчук. Залізничний транспорт України. – 2016. – №5-6. – С. 35-40.

**UDC 621.43.068**

## **USE OF OZONATION IN THE EXHAUST GAS RECIRCULATION SYSTEM OF ICE**

### **ВИКОРИСТАННЯ ОЗОНУВАННЯ У СИСТЕМІ РЕЦИРКУЛЯЦІЇ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ДВЗ**

*O.O. Steblyuk, master student, L.S. Orlovsky, master students  
Lymar O.O., PhD (Fiz.-Math.), Marchenko D.D., PhD (Tech.)  
Mykolayiv National Agrarian University (Mykolayiv)*

*О.О. Стеблюк, магістрант, Л.С. Орловський, магістрант  
О.О. Лимар, канд. фіз.-мат. наук, Д.Д. Марченко, канд. техн. наук  
Миколаївський національний аграрний університет, (м. Миколаїв)*

Bypassing part of the exhaust gases allows you to change the chemical composition of the fuel-air mixture, reduce the content of free oxygen in the combustion chamber. The efficiency of exhaust gas recirculation is explained by the presence of such components as water vapor and carbon dioxide in them. These substances have a high specific heat capacity, which helps to reduce the flame temperature in the combustion chamber and, accordingly, reduce the amount of nitrogen oxides in the exhaust gases. The use of up to 10% gas recirculation makes it possible to reduce the content of nitrogen oxides by approximately 30% without a noticeable increase in fuel consumption, although the smoke level increases slightly (by 5-10%).

At the same time, to simultaneously reduce toxicity and smoke level, different, sometimes incompatible measures are required, which significantly complicates the task of reducing harmful substances in exhaust gases, especially diesel engines. One possible solution is to combine a gas recirculation system with the ozonation method.

Ozone technologies for intensification of the combustion process make it possible to compensate for the shortcomings of existing methods for reducing the toxicity of exhaust gases from internal combustion engines. Ozone is a powerful natural oxidant that does not create dangerous or harmful impurities. Today it is widely used for

water purification and disinfection, removal of metal salts, deodorization of liquids, and air purification using modern generators.

In nature, ozone in its pure form exists only in the upper layers of the atmosphere; near the earth's surface it quickly decomposes into oxygen molecules, oxidizing surrounding substances. Thanks to this process, the air is purified from unpleasant odors and suspended particles. Ozone effectively eliminates odors of household chemicals, combustion products, gases, essential oils, benzene, and also neutralizes Freon-12, hydrogen sulfide, carbon disulfide, and other harmful substances.

In addition, during ozonation, biological air purification is carried out - bacteria and microorganisms are destroyed, which is especially important for medical institutions and public spaces. After the reactions are completed, ozone decomposes into oxygen, enriching the air.

One of the known methods of gas purification is the use of a nanosecond streamer corona discharge. Polluted air is passed through a reaction chamber, into which high-voltage pulses of such a short duration are applied that the chamber does not break down. As a result, an intense pulsed corona discharge occurs, forming many thin luminous channels - streamers. In the zone of their development, a large number of high-energy electrons are formed, which, interacting with gas molecules, contribute to the formation of active chemical particles, in particular ozone, which provides purification.

The use of a pulsed corona discharge for the decomposition of harmful gaseous compounds is a promising method. Experimental studies confirm that in the zone of such a discharge, the destruction of volatile organic compounds occurs, as well as the oxidation of sulfur and nitrogen oxides ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ ) and other impurities characteristic of exhaust gases of internal combustion engines.

The main characteristics of the cleaning process are the degree of cleaning and the amount of energy required to process 1 m<sup>3</sup> of gas. When using a pulsed corona discharge, the level of cleaning can reach 90-95% and depends mainly on the amount of energy introduced into the gas. This dependence can be both linear and nonlinear.

[1] Andreev, A. A., et al. Prospects for the use of ozonation in the exhaust gas recirculation system of internal combustion engines. In the collection: Code "Ozonation": conference materials. Kharkiv: KhNADU, 2020.

[2] Pylypenko, O. M., Vasylychenko, V. Yu., and Mylenko, A. L. Environmental indicators of a carburetor engine with fuel ozonation // Bulletin of the Vinnytsia Polytechnic Institute. Vinnytsia, 2009. Issue 5. P. 26–28.

[3] Stolyarenko, G. S., Gromyko, A. V. Ozone method for reducing the toxicity of exhaust gases of internal combustion engines // Internal combustion engines. 2005. No. 1. P. 47-52.

[4] Marchenko D. D., Lyamar O. O., Grigorenko A. O. Ways to improve the reliability of grain harvesting machines to ensure the country's food independence. Food security of Ukraine in the conditions of post-war recovery: global and national dimensions. International forum: reports of participants of the international scientific and practical conference (Mykolaiv, May 28-30, 2025) / Ministry of Education and Science of Ukraine; Mykolaiv National Agrarian University. Mykolaiv: MNAU, 2025. P. 356-358. DOI: <https://doi.org/10.31521/978-617-7149-86-5-119>

[5] Kononov, Y., & Lyamar, O. (2025). Investigating the stability of oscillations of rectangular plates in an infinitely long rectangular parallelepiped with an ideal fluid. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(7 (133), 14–21. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.323200>

[6] Lyamar O., Marchenko D., Khramov M. Use of technological fluids coolants in cutting processing. Food security of Ukraine in the conditions of the war and post-war recovery: global and national dimensions. International forum = Food security of Ukraine in the conditions of the war and post-war recovery: global and national dimensions. International forum : reports of participants of the international scientific and practical conference (Mykolaiv, May 30-31, 2024) / Ministry of Education and Science of Ukraine ; Mykolaiv National Agrarian University. Mykolaiv: MNAU, 2024. P. 90-92. DOI: <https://doi.org/10.31521/978-617-7149-78-0-28>.

**UDC 621.43.016:621.89**

## **FACTORS CONSIDERED WHEN ASSESSING WEAR OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE CYLINDERS**

### **ФАКТОРИ, ЩО ВРАХОВУЮТЬСЯ ПРИ ОЦІНЦІ ЗНОСУ ЦИЛІНДРІВ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ**

*I.S. Okhrimenko, master student, A.O. Olynyk, master student  
O.O. Lyman, PhD (Fiz.-Math.), D.D. Marchenko, PhD (Tech.)  
Mykolayiv National Agrarian University (Mykolayiv)*

*I.C. Охріменко, магістрант, А.О. Олійник – магістрант  
О.О. Лимар, канд. фіз.-мат. наук, Д.Д. Марченко, канд. техн. наук  
Миколаївський національний аграрний університет, (м. Миколаїв)*

Determining cylinder wear using calculation methods and predicting engine durability are of great practical importance. In addition, knowledge of the wear diagram of designed engines is necessary for the development of optimal cylinder manufacturing technologies that ensure maximum engine life during operation. Obtaining an operational wear diagram for new engines requires a significant amount of time and high material costs. To achieve reliable results, it is necessary to conduct research on many engines over a long period. Creating a mathematical model for calculating cylinder wear significantly speeds up the process and reduces costs, allowing you to obtain the necessary data several times faster and cheaper. However, to date, there is no single and reliable method for calculating cylinder wear. This is due to the large number of factors that affect the wear of internal combustion engine cylinders, and their different effects on different engines and in different operating conditions. All factors that affect the intensity of cylinder wear can be conditionally divided into two groups: internal and external. Internal factors include those that cannot be changed during operation, in particular: the design features of the engine and the physical and mechanical properties of the rubbing materials (bushings, rings, piston). External factors include a large number of variable parameters that can vary during operation, such as: used oils, air, fuel and oil purity, operating modes (load, speed, temperature), as well as indicator parameters of engine operation (compression ratio, boost ratio, maximum combustion pressures, gas temperatures, etc.).

The main problem is that external factors that affect the friction of piston rings against the cylinder vary along the height of the cylinder and differ at different points in it. Even when all internal and external factors are taken into account, cylinder wear is caused by friction between the piston rings (which can be from 3 to 8 per piston) and the piston. Each ring operates under different friction conditions and in different

areas of the cylinder. Cylinder wear is the result of the complex influence of all factors.

When creating a mathematical model of cylinder wear, an important role is played by the selection of the main factors that significantly affect this process. To simplify the calculations, it is necessary to make certain assumptions and highlight the main factors. In modern engines that have a reliable air and fuel cleaning system and use high-quality oils, the influence of some factors can be ignored, taking them as constant and such that only shift the wear curve. This applies, for example, to the type of fuel or oil. The physical and mechanical properties of rubbing materials do not change the nature of the wear curve, but only affect its absolute values, so they can also be ignored.

Among the factors that cannot be ignored are objectively existing and variable parameters along the cylinder height: friction pressure, piston speed and cylinder surface temperature. So, the main factors that affect cylinder wear are:

- gas pressure in the cylinder;
- instantaneous piston speed;
- cylinder wall surface temperature.

Other internal and external factors can be considered secondary and not taken into account at the first stage, since their influence is manifested not in changing the qualitative nature of wear, but only in shifting the wear diagram by a constant value in the direction of increasing or decreasing the ordinates. For example, the type of fuel or oil can affect the wear diagram, but this only changes the overall level of wear. Similarly, the physical and mechanical properties of rubbing materials (rings, piston and cylinder) do not change the shape of the wear diagram, but only its magnitude.

Regarding the consideration of certain factors or the calculation of the wear diagram, it should be noted that the methodology developed by the authors allows, if necessary, to expand it by including additional factors, both primary and secondary, that can affect the wear diagram.

Thus, the following conclusions can be drawn:

- Changing the engine operating modes has a significant impact on the nature and magnitude of wear of diesel cylinder liners.
- For each diesel engine, there is an optimal crankshaft speed at which bushing wear is minimal.
- Increasing the boost ratio has a positive effect on the nature of the wear pattern, smoothing it out.
- Increasing the temperature of the bushing surface reduces the intensity of wear and has a positive effect on the resource of the cylinder-piston group parts.
- The most desirable way to increase the engine resource is to increase the boost ratio when operating at optimal speeds and ensuring the maximum possible and permissible temperature level for the cylinder-piston group parts.

[1] Vasilyuk V. V. Improving the diagnosis of the technical condition of the cylinder-piston group of engines: dissertation ... candidate of technical sciences: 05.05.03. Dnipro, 2019.

[2] Dyachenko V. G. Internal combustion engines. Theory, design and principles of calculation: textbook. Kharkiv: Khai, 2007.

- [3] Dumchykov V. O. Wear of automobile engine cylinders, reasons for its occurrence // Materials of the XVI International Youth Forum "Youth and Agricultural Machinery in the XXI Century". Kharkiv: KhNTUSG, 2020. P. 53.
- [4] Marchenko, D., & Matvyeyeva, K. (2022). Increasing warning resistance of engine valves by gas nitrogenization method. Problems of Tribology, 27(2/104), 20–27. <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2022-104-2-20-27>
- [5] Kononov, Y., & Lyman, O. (2025). Investigating the stability of oscillations of rectangular plates in an infinitely long rectangular parallelepiped with an ideal fluid. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(7 (133), 14–21. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.323200>
- [6] Lyman O., Marchenko D., Khranov M. Use of technological fluids coolants in cutting processing. Food security of Ukraine in the conditions of the war and post-war recovery: global and national dimensions. International forum = Food security of Ukraine in the conditions of the war and post-war recovery: global and national dimensions. International forum : reports of participants of the international scientific and practical conference (Mykolaiv, May 30-31, 2024) / Ministry of Education and Science of Ukraine ; Mykolaiv National Agrarian University. Mykolaiv: MNAU, 2024. P. 90-92. DOI: <https://doi.org/10.31521/978-617-7149-78-0-28>.
- [7] Marchenko, D., Artyukh, V., & Matvyeyeva, K. (2020). Analysis of the influence of surface plastic deformation on increasing the wear resistance of machine parts. Problems of Tribology, 25(2/96), 6–11. <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2020-96-2-6-11>.

**UDC 621.43:004.65**

**STATUS AND DEVELOPMENT TRENDS OF SYSTEMS FOR  
MONITORING OPERATING MODES OF DIESEL POWER PLANTS**

**СТАН І ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ  
ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ РЕЖИМІВ ДИЗЕЛЬНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ  
УСТАНОВОК**

*V.V. Laskovy, master student, D.G. Karpenko, master student  
O.O. Lyman, PhD (Fiz.-Math.), D.D. Marchenko, PhD (Tech.)  
Mykolayiv National Agrarian University (Mykolayiv)*

*В.В. Ласковий, магістрант, Д.Г. Карпенко, магістрант  
О.О. Лимар, канд. фіз.-мат. наук, Д.Д. Марченко, канд. техн. наук  
Миколаївський національний аграрний університет, (м. Миколаїв)*

The problem of remote control of the operating parameters of a diesel power plant (DEU) of a transport vessel is extremely relevant for several reasons. First, because of the high cost of fuel. In less than ten years, the price of the main types of fuel (MDO, IFO180, IFO380) has increased almost threefold, and today it is more than \$ 1,000 per ton of MDO. Secondly, the current requirements of MARPOL 73/78 P.VI limit NO<sub>x</sub> and SO<sub>x</sub> emissions in the exhaust gases of a diesel power plant. Exceeding these standards due to the lack of detailed and objective information about the condition of a diesel DEU leads to large fines for shipowners. In addition, regular control of operational parameters increases the level of technical operation of a diesel DEU, contributing not only to detailed accounting of operating costs and planning of repairs, but also to effective management of a complex multi-system modern diesel power plant. The time of local solutions for controlling technological processes is quickly becoming a thing of the past. Today, networked, corporate online management and control are relevant, when the opinions of many competent specialists are taken into account when making complex decisions, and the results of

joint activities are available to everyone. The effectiveness of such a strategy is much higher due to quick feedback and the exclusion of random subjective factors.

The ability of transport to perform its main task - transportation of goods, while ensuring safety - depends on the technical condition of the DEU. In addition to diesel engines, the DEU includes auxiliary diesel generators and a boiler. Current operating costs for these facilities, such as fuel, oil and repair costs, also occupy one of the first places. Therefore, the following tasks are relevant for the DEU: power control in all operating modes, accounting for fuel and oil consumption, as well as accurate accounting of engine life depending on the degree of load on the mechanisms. Of course, the task of developing an effective strategy for planning the operation of a diesel DEU, based on the analysis of the data obtained, is important.

Given the spread of diesel power plants, this is one of the most important tasks of increasing competitiveness in transport. In operation, the share of diesel DEU is up to 40% of operating costs. Specific to operation are variable load modes and the influence of numerous external factors. A characteristic feature of diesel DEU is that the main processes that characterize the technical condition are difficult to visualize and control. Also specific to the industry is that the main management personnel who make strategic decisions. In a situation of actual lack of detailed objective information about the current state of energy facilities as a whole, these strategic decisions may be inaccurate or even erroneous. The way out of the situation is obvious - to develop measures for timely delivery to management personnel of objective and detailed information about the state in real time.

The problem of remote control of diesel DEU parameters was addressed by a number of organizations and companies, among which the largest are A.P. Moller-Maersk, MAK International Shipping LLC and others, as well as leading companies: MAN, Wartsila-Sulzer, MAK-Caterpillar Marine Power Systems and others. The problem of controlling diesel DEU parameters is addressed by the work of both domestic and foreign authors: S.V. Kamkin, I.V. Voznitsky, Yu.Ya. Fomin, S.V. Semenov, V.G. Ivanovsky.

Analysis of the structures and functional capabilities of existing systems and methods for controlling the operational parameters of diesel DEUs showed that in most cases the control task was solved locally with data transmission to the office in a semi-automatic mode. In such cases, the subjective factor and possible distortions or delays in information were not excluded. When the task of automatic data reception and transmission was solved by large companies, the solution was individual, using specific measuring and communication equipment, and, as a rule, also expensive. The latter factor excluded the possibility of widespread use of methods for remote control of DEU operational parameters in transport.

In the practice of operating diesel DEUs, there is a problem of a gradual decrease in power and an increase in thermal load, which is accompanied by an increase in fuel consumption, associated with the accumulation of non-critical, difficult-to-detect defects of the fuel equipment, the gas distribution mechanism and the cylinder-piston group. This occurs due to the failure to take timely measures to restore the performance of the main engine components, which is a consequence of the lack of accurate and detailed data on operational parameters.

Therefore, taking into account the specifics of operation, the task of remote control of diesel DEU parameters obtained during operation is relevant. Remote control of DEU parameters is a necessary condition for cost-effective, trouble-free and environmentally safe operation of modern transport.

- [1] Kamkin S. V., Voznitsky I. V., Fomin Yu. Ya., Semenov S. V., Ivanovsky V. G. Monitoring of parameters of diesel ship power plants / S. V. Kamkin et al. - Kyiv: Publishing House of the National Academy of Sciences, 2018. - 256 p.
- [2] MAN Energy Solutions. Marine Diesel Engines and Remote Monitoring Systems. Technical Documentation. - MAN Energy Solutions, 2021. - 120 p.
- [3] Vasylychenko, V. Yu., and Pylypenko, O. M. Information approach to monitoring the technical condition of ship diesel generator sets. *Aerospace Engineering and Technology*. 2010. No. 8 (75). P. 136-139.
- [4] Lymar O., Marchenko D., Khramov M. Use of technological fluids coolants in cutting processing. Food security of Ukraine in the conditions of the war and post-war recovery: global and national dimensions. International forum = Food security of Ukraine in the conditions of the war and post-war recovery: global and national dimensions. International forum : reports of participants of the international scientific and practical conference (Mykolaiv, May 30-31, 2024) / Ministry of Education and Science of Ukraine ; Mykolaiv National Agrarian University. Mykolaiv : MNAU, 2024. P. 90-92. DOI: <https://doi.org/10.31521/978-617-7149-78-0-28>.
- [5] Marchenko D. D., Lymar O. O., Grigorenko A. O. Ways to improve the reliability of grain harvesting machines to ensure the country's food independence. Food security of Ukraine in the conditions of the war and post-war recovery: global and national dimensions. International forum: reports of participants of the international scientific and practical conference (Mykolaiv, May 28-30, 2025) / Ministry of Education and Science of Ukraine; Mykolaiv National Agrarian University. Mykolaiv: MNAU, 2025. P. 356-358. DOI: <https://doi.org/10.31521/978-617-7149-86-5-119>.
- [6] Marchenko, D., & Matvyeyeva, K. (2023). Research of Increase of the Wear Resistance of Machine Parts and Tools by Surface Alloying. *Problems of Tribology*, 28(3/109), 32–40. <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2023-109-3-32-40>

**УДК 621.74:669.13.017**

## **ВПЛИВ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ТА МОРФОЛОГІЇ ГРАФІТУ НА ТЕПЛОВІ ТА ФРИКЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ЧАВУННИХ ГАЛЬМІВНИХ КОЛОДОК ДЛЯ РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦІ**

### **INFLUENCE OF CHEMICAL COMPOSITION AND GRAPHITE MORPHOLOGY ON THERMAL AND FRICTIONAL PERFORMANCE OF CAST IRON BRAKE PADS FOR RAILWAY ROLLING STOCK**

*к.т.н. С. О. Плітченко<sup>1</sup>, д.т.н. І. О. Вакуленко<sup>2</sup>, к.т.н. Т. В. Калініна<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Український державний університет науки і технологій (м. Дніпро)*

<sup>2</sup>*Дніпровський державний технічний університет (м. Кам'янське)*

*S. O. Plitchenko<sup>1</sup>, PhD (Tech.), I. O. Vakulenko<sup>2</sup>, DSc (Tech.),  
T. V. Kalinina<sup>2</sup>, PhD (Tech.)*

<sup>1</sup>*Ukrainian State University Science and Technology (Dnipro)*

<sup>2</sup>*Dniprovsky State Technical University (Kamianske)*

Гальмівні системи рухомого складу базуються на фрикційній взаємодії між колодками та поверхнею кочення залізничних коліс. Традиційно для виготовлення колодок застосовується сірий ливарний чавун завдяки його технологічності та стабільному коефіцієнту тертя. Проте сучасні умови експлуатації, зокрема підвищення швидкостей руху та навантаження на вісь колісної пари, вимагають від систем гальмування підвищеної ефективності, в

тому числі стабільності коефіцієнта тертя. Наведене потребує врахування додаткових факторів, зокрема теплопровідності матеріалу гальмівних колодок та стабільності його внутрішньої будови при циклічних змінах робочої температури.

Під час інтенсивного гальмування температура в тонкому шарі вуглецевої сталі поблизу поверхні кочення може досягати значень початку фазових перетворень. В результаті цього прискорення процесів неоднорідного розподілу пластичної деформації по поверхні кочення [1] слід розглядати як один із чинників, що сприяє утворенню осередків руйнування металу колеса. З іншого боку, часті випадки непередбачуваної зміни комплексу властивостей металу колеса після гальмування рухомого складу, вимагають за необхідне враховувати теплові ефекти при виборі матеріалу колодок. Порівняльний аналіз чавуну з альтернативними матеріалами, такими як органічні композити та багатофазні бронзові сплави, показує, що композити забезпечують вищий коефіцієнт тертя, але їх теплопровідність ( $\lambda$ ) у кілька разів нижча ніж у чавуну, що може обмежувати їх сезонне застосування [2]. Наприклад, гальмівні колодки з бронзи мають  $\lambda$  у 3–3,5 рази вищу, ніж чавунні, однак їх застосування призводить до підвищення зносу поверхні кочення коліс приблизно на 30 %. Враховуючи достатньо значні економічні витрати на їх виготовлення, разом з негативним впливом на стан поверхні кочення коліс, становлять основні стримуючі фактори широкого їх застосування на практиці.

При розробці пропозицій по вдосконаленню хімічного складу чавуну для гальмівних колодок слід враховувати різний характер впливу з боку легуючих елементів або фазових складових на теплопровідність. Так, збільшення вмісту вуглецю в чавуні в загальному виді, знижує  $\lambda$ . З іншого боку, визначеного впливу на вказану характеристику набуває тип високовуглецевої фази. Коли високовуглецева фаза в чавуні представлена у вигляді графітових включень, пропорційно збільшенню її об'ємної частки спостерігається зростання  $\lambda$  [3]. З іншого боку, враховуючи, що кремній сприяє графітизації чавуну, за незмінної об'ємної частки графіту, підвищення вмісту  $Si$  супроводжується зниженням  $\lambda$  [4]. На підставі факторів з протилежним характером впливу на  $\lambda$  розроблено пропозиції по обмеженню концентрації хімічних елементів у чавуні гальмівних колодок. Дійсно, згідно з DSTU 30249, гальмівні колодки марок «М» та «Р» містять 2,5–3,6 %  $C$  та 0,7–2 %  $Si$ , що забезпечує значення  $\lambda$  близько 0,135 кал/см·с·°С при 100 °С [2]. Оптимізація структури, зокрема формування пластівчастої морфології графіту та зниження його дисперсності, дозволить підвищити теплопровідність до 0,15–0,17 кал/см·с·°С. З іншого боку, утворення аустенітної фази при нагріві чавуну з ферито-перлітною основою, навпаки, знижує  $\lambda$ . При цьому зниження вказаної характеристики може досягати більш ніж удвічі [5]. На підставі цього, вдосконалення структурного стану сірого чавуну є перспективним напрямом підвищення теплопровідності гальмівних колодок при збереженні їх фрикційних характеристик, що забезпечить визначену надійність експлуатації рухомого складу.

Таким чином, оптимальне співвідношення вуглецю та кремнію, в поєднанні з контрольованим охолодженням слід розглядати як один із перспективних

напряжків формування структури чавуну з підвищеним тепловідводом. Такий підхід сприятиме зниженню термічних напружень в ободі колеса та мінімізуватиме непередбачувані фазові перетворення під час гальмування рухомого складу. Подальші дослідження мають бути спрямовані на інтеграцію теплових факторів у стандарти вибору матеріалів для гальмівних колодок та розробку технологій лиття, що стабілізують морфологію графіту без погіршення механічної міцності.

- [1] Faccoli M., Ghidini L., Mazzu A. Experimental study on the influence of thermal loading caused by shoe braking on microstructure and mechanical properties of railway wheels. *Journal of Materials Engineering and Performance*. 2024. Vol. 33. P. 14471–14482. <https://doi.org/10.1007/s11665-024-10211-4>.
- [2] Колодки гальмівні чавунні для локомотивів. Технічні умови: [5] ДСТУ 30249-97 – [Чинний 2025-11-01]. – К.: Міждержавний технічний комітет МТК 120 «Металопродукція з чорних металів і сплавів», 1999. – 40 с.
- [3] Liu Y., Li Y., Xing J., et al. Effect of graphite morphology on the tensile strength and thermal conductivity of cast iron. *Materials Characterization*. 2018. Vol. 144. P. 155–165. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2018.07.001>
- [4] *ASM Handbook, Volume 1: Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys*. ASM International, 1990. 1045 p. ISBN 978-0-87170-377-4. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https://www.asminternational.org/results/-/journal\\_content/56/06181G/PUBLICATION/](https://www.asminternational.org/results/-/journal_content/56/06181G/PUBLICATION/)
- [5] Bhadeshia H.K.D.H., Honeycombe R.W.K. *Steels: Microstructure and Properties*. 4th ed. Oxford: Butterworth-Heinemann (Elsevier), 2017. 488 p. ISBN 978-0-08-100270-4. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://shop.elsevier.com/books/steels-microstructure-and-properties/bhadeshia/978-0-08-100270-4>

УДК 625.2:621.785.5

## SOFTENING METAL OF THE ROLLING SURFACE RAILWAY WHEEL UNDER THE ACTION OF ELECTRIC CURRENT IMPULSES

## ПОМ'ЯКШЕННЯ МЕТАЛУ ПОВЕРХНІ КОЧЕННЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО КОЛЕСА ВІД ДІЇ ІМПУЛЬСІВ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ

*I. O. Vakulenko<sup>1</sup>, D.Sc (Tech.), S. O. Plitchenko<sup>2</sup>, PhD (Tech.),  
Kh. Asgarov<sup>3</sup>, DSc (Tech.)*

*<sup>1</sup>Ukrainian State University Science and Technology (Dnipro)*

*<sup>2</sup>Dniprovsky State Technical University (Kamianske)*

*<sup>3</sup>Karabuk University (Karabuk, Turkey)*

*д.т.н. І. О. Вакуленко<sup>1</sup>, к.т.н. С. О. Плітченко<sup>2</sup>, д.т.н. Х. Асгаров<sup>3</sup>*

*<sup>1</sup>Дніпровський державний технічний університет (м. Кам'янське)*

*<sup>2</sup>Український державний університет науки і технологій (м. Дніпро)*

*<sup>3</sup>Карабюцький університет (Карабюк, Туреччина)*

During operation railway wheels of various strength levels, cyclic changes in temperature and degree of plastic deformation are considered the main factors formation of metal damage on the rolling surface.

The mechanism formation of fracture centers is based on achieving the maximum permissible limit accumulation of defects of crystalline structure in the metal of the rim of the railway wheel during rolling. Based on this, the main direction increasing the service life of railway wheels should be considered measures aimed at inhibiting

process of formation of irreversible damage to the metal on the rolling surface. The achievement of this goal can be achieved qualitatively in different ways. Optimization chemical composition of wheel steel with subsequent heat treatment is the most common direction for improving the strength and crack resistance characteristics of railway wheels and their individual elements [1].

A qualitatively different direction is the use of operations to restore dimensions of the wheel rim or the use of treatments aimed at reducing gradient of accumulated defects crystalline structure and residual internal stresses in the metal after a certain operation of the wheel. Compared to thermal technologies, treatments using magnetic field pulses or electric current [2] deserve some attention. Common to such treatments is the practical absence thermal influence on the processes of structural transformations. The known effect plasticization of deformed metal from the action of electric current is based on a change at movement of free electrons under influence of an electric pulse [3]. Proportionally increasing energy of moving electrons from the action of electric current, the pressure on dislocations will increase from their side, contributing to a decrease at activation energy for the start of their movement [4].

The calculation of the pulse frequency is limited to conditions for occurrence of the "skin effect":

$$f_k = (\pi \cdot \mu_0 \cdot \mu \cdot \gamma \cdot \delta^2)^{-1},$$

where  $f_k$  – critical frequency (Hz), above which the "skin effect" occurs;  $\gamma$  – specific electrical conductivity (Ohm/m);  $\mu_0$  – magnetic permeability of vacuum (H/m);  $\mu$  – relative magnetic permeability of the studied metal material;  $\delta$  – thickness of the metal layer to be processed (m).

According to given ratio, for processing a metal layer up to 20 mm thick, it is necessary that the pulse frequency does not exceed critical value (interval 1.27–0.31 Hz), then the duration of the electric current pulse should be approximately 0.4–1.6 s.

The material for the study was a fragment of a railway wheel rim, prematurely withdrawn from service. The Vickers hardness of the rolling surface near the ridge (*A*) and side surface of the rim (*C*) was 7–7.7 GPa, and at middle (*B*) 5.5–6 GPa. The given difference in hardness is due to the level intensity of cyclic heating metal at rim areas during braking of the rolling stock. After processing fragment of the wheel rim with electric current pulses, a certain softening of the rim metal was achieved. The decrease in hardness for the area *A* was 20; for *B* 9 and for *C* 11 % compared to the original state. Considering that during electric pulse treatment the temperature did not exceed 50°C, achieved level of softening is not associated with heating the metal. Moreover, heating to 50–150 °C, due to the development of deformation aging, will contribute to an increase at hardness of cold-deformed carbon steels [1]. Microstructure studies have identified changes in the shape of slip lines in the cells of structurally free ferrite.

If we consider that according to stoichiometry in the steel of railway wheel, the proportion of structurally free ferrite is 18–27 %, the decrease in hardness by 10–

15 % is quite justified. Moreover, the use of X-ray structural analysis confirmed effect of softening the metal after action of electric current pulses. In proportion to decrease in hardness, a decrease at density of dislocations, an increase at size of coherent scattering regions, and a decrease at micro stresses were determined.

[1] Vakulenko I.A., Vakulenko L., Dal S., Asgarov Kh. Structure evolution in steels of railway wheels at manufacture and operations // Nobel Bilimsel Eserler / ed. S. Dal. – Ankara, 2023.

[2] Vakulenko I.O., Plitchenko S.O., Sokirko V.A. та ін. Use of electric pulse treatment for relaxation internal stresses // Proc. 9th Intern. Conf. Young Scientists “Welding and Related Technologies”. – Kyiv, Ukraine, 23–26 May 2017. – P. 262–266.

[3] Tang G., Zhang J., Zheng M. [et al.] Experimental study of electroplastic effect on stainless steel wire 304L // Materials Science and Engineering: A. – 2000. – Vol. 281, № 1–2. – P. 263–267.

[4] Conrad H. Effects of electric current on solid state phase transformations in metals // Materials Science and Engineering: A. – 2000. – Vol. 287, № 2. – P. 227–237.

УДК 629.4.016.2

## **МОДЕЛЮВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО АУДИТУ ПНЕВМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ**

### **MODELING OF ENERGY AUDIT OF PNEUMATIC SYSTEM OF TRACTION ROLLING STOCK**

*докт. техн. наук Ю. Є. Калабухін, канд. техн. наук А. Л. Сумцов  
Український державний університет залізничного транспорту (м.Харків)*

*Y. Kalabukhin, D.Sc. (Tech.), A. Sumtsov, PhD (Tech.)  
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Енергетичний аудит тягового рухомого складу (ТРС) є надзвичайно актуальною задачею в умовах постійного зростання цін на енергоносії та необхідності зменшення екологічного навантаження. Залізничний транспорт, як один із найбільш енергоефективних видів транспорту, все ж має значний потенціал для подальшої оптимізації споживання енергії. Аудит дозволяє ідентифікувати неефективні режими роботи, визначити найбільші споживачі енергії та розробити конкретні заходи для підвищення енергоефективності, що в кінцевому підсумку веде до суттєвої економії експлуатаційних витрат і підвищення конкурентоспроможності [1, 2].

Пневматична система є одним із найбільших споживачів енергії серед допоміжних систем локомотива, особливо на електровозах та тепловозах з електричною передачею. Її споживання має циклічний характер і залежить від наступних факторів [1]:

- інтенсивності гальмування – часте гальмування вимагає більш частого поповнення запасного резервуару;
- витоків повітря – негерметичність гальмівної магістралі поїзда та внутрішніх мереж локомотива призводить до постійної роботи компресора.
- режиму роботи компресора – ефективність компресора та його системи керування;

- роботи пневмоприводів (інтенсивності споживання ними повітря).

Через свою циклічність та залежність від зовнішніх факторів (стан гальмівної магістралі поїзда, стан компресора та інші фактори), споживання енергії пневматичною системою часто є менш прогнозованим і має значний потенціал для енергозбереження шляхом усунення витоків та оптимізації керування компресорами.

Модель енергоспоживання пневматичної системи локомотива фокусується на роботі компресора. Загальну енергію, спожиту компресором за певний період часу  $T$ , можна визначити, виходячи з його потужності та часу роботи.

$$E_{comp} = \int_0^T P_{comp}(t) \cdot dt, \quad (1)$$

де  $P_{comp}(t)$  – механічна потужність, споживана компресором у момент часу  $t$ .

Модель енергетичного аудиту вимагає вимірювання (або моделювання) сумарного часу роботи компресора  $t_{run}$  протягом рейсу. Спожита енергія за рейс  $E_{рейс}$  буде пропорційна:

$$E_{рейс} = P_{nom} \cdot t_{run} \quad (2)$$

де  $P_{nom}$  – потужність компресора, кВт.

Ключовим елементом моделі є моделювання потреби в повітрі  $V_{потреба}$  яка включає повітря для того, що використовується для гальмування  $V_{гал}$ , повітря спожите пневматичними агрегатами - пневмоприводами (наприклад привід відкривання жалюзі холодильної камери)  $V_{агр}$  та повітря для компенсації витоків  $V_{вит}$ :

$$V_{потреба} = V_{гал} + V_{агр} + V_{вит} \quad (3)$$

Саме оцінка  $V_{вит}$  є критично важливою для аудиту, оскільки цей компонент часто становить до 50% загальної витрати повітря і може бути мінімізований технічними заходами.

Впровадження енергетичного аудиту тягового рухомого складу, включаючи деталізовану модель споживання енергії пневматичною системою, є потужним інструментом для комплексного управління енергоефективністю експлуатації тягового рухомого складу. Енергетичний аудит дозволяє не лише кількісно оцінити поточне споживання, а й визначити місця прикладання зусиль щодо підвищення енергетичної ефективності. Впровадження результатів аудиту, що включає усунення витоків та оптимізацію алгоритмів керування допоміжними системами та агрегатами споживання стиснутого повітря, дозволяє досягти економії паливно-енергетичних ресурсів.

- [1] Касьян, А. В. Методи підвищення енергоефективності пневматичних приводів / А. В. Касьян, О. С. Галецький // *Mechanics and Advanced Technologies*. – 2025. – Vol. 9, No. 1(104). – P. 51-58 [https://doi.org/10.20535/2521-1943.2025.9.1\(104\).310948](https://doi.org/10.20535/2521-1943.2025.9.1(104).310948)
- [2] Калабухін Ю. Є. Загальний підхід до визначення енергетичного балансу локомотива / Ю. Є. Калабухін, А. Л. Сумцов // *Прогресивні технології засобів транспорту: тези 2-ї міжнар. наук.-техн. конф. (5-6 грудня 2024 р.)*. - Харків: УкрДУЗТ, 2024. - С. 44-46.

**УДК 656.078.8:004.9**

## **ПАРАДИГМА ПРОЄКТУВАННЯ ТА КЕРУВАННЯ РІЧСТАКЕРАМИ НОВОГО ПОКОЛІННЯ**

### **DESIGN AND CONTROL PARADIGM FOR NEXT-GENERATION REACH STACKERS**

*студ. Д. М. Ніколаєнко<sup>1</sup>, магістр, викл. С. І. Лисак<sup>2</sup>,  
студ. А. Д. Мацібура<sup>2</sup>, канд. техн. Наук М. М. Балака<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)  
<sup>2</sup>ВСП Миколаївський будівельний фаховий коледж КНУБА (м. Миколаїв)*

*student D. M. Nikolaienko<sup>1</sup>, master, teacher S. I. Lysak<sup>2</sup>,  
student A. D. Matsybura<sup>2</sup>, Cand. Sc. (Eng.) M. M. Balaka<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Kyiv National University of Construction and Architecture (Kyiv)  
<sup>2</sup>Mykolaiv Building Professional College of KNUCA (Mykolaiv)*

Сучасна логістична інфраструктура перебуває в стані інтенсивної трансформації, зумовленої зростанням контейнерних потоків, впровадженням цифрових технологій та підвищенням вимог до енергоефективності і безпеки вантажних операцій. У цих умовах річстакери виконують ключову роль, забезпечуючи мобільність, маневреність і гнучкість контейнерних терміналів. Однак традиційні підходи до проектування робочого обладнання та побудови систем керування вже не відповідають сучасним викликам. Стає необхідність переходу до нової парадигми конструювання та модернізації таких машин.

Актуальність дослідження посилюється й тим, що в умовах післявоєнної відбудови України формується запит на швидке створення або відновлення мультимодальних терміналів, залізничних хабів та портових комплексів. Ефективність їхнього функціонування значною мірою залежить від можливості використання річстакерів підвищеної продуктивності, знижених витрат енергії та розширених діагностичних можливостей. У таких умовах особливого значення набувають методи моделювання навантажень, удосконалення кінематичних схем, впровадження мехатронних модулів, систем оптимального керування та багатокритеріальна оцінка ефективності машин [1–4].

Метою роботи є формування інтегрованої концепції проектування та оптимізації річстакерів на основі сучасних методів моделювання, аналізу робочих циклів і розвитку систем керування, доповненої енергетичними та експлуатаційними критеріями.

Сучасні річстакери переходять від класичних схем керування механізмами до багаторівневих мехатронних систем [5], що включають: рівень приводів – електрогідравлічні модулі з адаптивною подачею; рівень координації рухів – алгоритми моделювання траєкторій, fuzzy-регулятори, методи предиктивного керування; рівень взаємодії з оператором та інфраструктурою – цифрові моделі, системи діагностики, віддалений моніторинг.

Функціональна залежність вихідного сигналу нечіткого регулятора

$$u = \sum(\mu_i(x) \cdot w_i),$$

що дозволяє адаптувати керування під змінні умови (вітер, нестандартну масу, різні конфігурації штабелювання тощо).

Порівняльні дослідження показали, що використання адаптивних алгоритмів керування знижує амплітуду коливань стріли та спредера до 30%, скорочує час точного позиціонування контейнера на 10–15% і підвищує стабільність роботи при штабелюванні у 5–6 ярусів [2, 6].

Для оцінки енерговитрат запропоновано модель робочого циклу

$$E = \int P(t)dt = E_p + E_m + E_h,$$

де  $E_p$  – енергія підйому;  $E_m$  – енергія маневрування;  $E_h$  – втрати гідросистеми.

Розрахунки показують, що використання насосів зі змінною подачею з елементами прогнозного керування (Predictive Load Sensing) дає змогу знизити втрати гідросистеми  $E_h$  у середньому на 9–12%. Окремі сценарії роботи при інтенсивному штабелюванні демонструють потенціал економії до 15% [1].

Безпеку експлуатації оцінено на основі коефіцієнта стійкості. Забезпечення коефіцієнта  $k_s \geq 1,25$  (або  $\geq 1,40$  для роботи у другому-третьому рядах) гарантує відсутність ризику перекидання при стандартних операціях. А використання інерційних модулів для контролю відхилень стріли зменшує аварійні ситуації, пов'язані з людським фактором, приблизно на 25–30%.

Таким чином, у контексті модернізації українських транспортних хабів запропоновані методи дають такі переваги щодо скорочення часу обробки контейнера на 10–18%, зниження витрат палива та енергоспоживання на 8–14%, покращення діагностування стану механізмів річстакера, можливість використання цифрових двійників при реконструкції терміналів, підвищення ефективності роботи у режимах пікового навантаження.

Це забезпечує передумови для швидкого розгортання сучасних логістичних центрів, підвищення рівня автономності та надійності транспортних операцій. Результати дослідження підтверджують можливість створення річстакерів нового покоління, здатних забезпечувати високу продуктивність, стабільність та ефективність у сучасних умовах функціонування контейнерних терміналів, а також сприяти відбудові та модернізації логістичної інфраструктури України.

- [1] Lysak S., Balaka M., Riepin V., Yahodynets V., Matsybura A. Feasibility study of reach stacker model choice. *Girnychi, budivelni, dorozhni ta melioratyvni mashyny*. 2025. (105), 45–50. URL: <https://doi.org/10.32347/gbdmm.2025.105.0303>.
- [2] Вікович І. А. Транспортні навантажувально-розвантажувальні засоби. Львів: Львів. політехніка, 2018. 678 с.
- [3] Тетерятник О., Балака М. Аналіз шляхів забезпечення енергонезалежності будівельної техніки з використанням відновлювальних джерел енергії. *Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини*. 2021. (97), 24–35. URL: <https://doi.org/10.32347/gbdmm2021.97.0301>.
- [4] Міщук Д. О., Міщук Є. О., Балака М. М. Міждисциплінарна освіта – запорука до сталого розвитку суспільства. MoodleMoot Ukraine 2024. Теорія і практика використання системи управління навчанням Moodle: матеріали 12-ї Міжнар. наук.-практ. конф. (31 трав. 2024 р.). Київ, 2024. URL: <https://2024.moodle moot.in.ua/course/view.php?id=13>.
- [5] Пелевін Л. Є. Балака М. М., Аржаєв Г. О. Мехатронні системи гідропневмоавтоматики. Київ: Аграр Медіа Груп, 2014. 192 с.
- [6] Lysak S., Balaka M., Machyshyn H., Diachenko O., Shcherbyna T. Design procedure of reach stacker control system. *Girnychi, budivelni, dorozhni ta melioratyvni mashyny*. 2024. (103), 25–32. URL: <https://doi.org/10.32347/gbdmm.2024.103.0202>.

**УДК 621.316**

**ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРЕХІДНОГО СТРУМУ  
НУЛЬОВОЇ ПОСЛІДОВНОСТІ В РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ  
СЕРЕДНЬОЇ НАПРУГИ З РЕЗОНАНСНО-ЗАЗЕМЛЕНОЮ НЕЙТРАЛЛЮ**

**STUDY OF THE CHARACTERISTICS OF ZERO SEQUENCE TRANSIENT  
CURRENT IN MEDIUM VOLTAGE DISTRIBUTION NETWORKS WITH  
RESONANTLY GROUNDED NEUTRAL**

*канд. техн. наук, Ю.О. Семененко<sup>1</sup>, докт. техн. наук, О.Г. Середя<sup>2</sup>,  
канд. техн. наук, О.І. Семененко<sup>1</sup>, О.Д. Семененко<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>*Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків),*

<sup>2</sup>*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»  
(м. Харків),*

<sup>3</sup>*Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»  
(м. Харків)*

*Y.O. Semenenko<sup>1</sup>, PhD (Tech.), O.H. Sereda<sup>2</sup> D.Sc. (Tech.),  
O.I. Semenenko<sup>1</sup>, PhD (Tech.), O.D. Semenenko<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>*Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv),*

<sup>2</sup>*National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute» (Kharkiv),*

<sup>3</sup>*National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute» (Kharkiv)*

З метою поліпшення ефективності, а також швидкого та точного вибору несправної лінії в розподільних мережах середньої напруги з резонансно-заземленою нейтраллю пропонується метод, заснований на інтегралі потужності перехідної складової струму в нульовій послідовності [1]. Шляхом побудови еквівалентної мережі нульової послідовності в розподільних мережах середньої напруги з резонансно-заземленою нейтраллю та аналізу характеристик перехідного струму нульової послідовності встановлено, що

струм замикання містить помітну ослаблену складову постійного струму, яка утворюється антидуговою котушкою, несправною лінією та опором заземлення [2].

Резонансно-заземлена нейтраль широко використовується для підвищення надійності електропостачання в розподільних мережах середньої напруги.

Струм в котушці протидугового захисту тісно пов'язаний з магнітним потоком котушки протидугового захисту, що виражається як (1):

$$U_{phm} \sin(\omega t + \varphi) = r_{Lp} i_{0Lp} + W \frac{d\psi_{Lp}}{dt}, \quad (1)$$

де  $U_{phm}$  – середньоквадратичне значення фазної напруги,

$W$  – кількість витків протидугової котушки,

$\psi_L$  – магнітний потік протидугової котушки.

Струм у протидуговій котушці можна виразити як:

$$i_{0Lp} = \frac{\psi_{Lp} W}{L_p}. \quad (2)$$

Рівняння потоку антидугової котушки можна отримати, підставивши рівняння (2) в (1).

$$\left\{ \begin{array}{l} \psi_{Lp} = \psi_{st} \frac{\omega L_p}{Z} \left[ \cos(\varphi + \xi) e^{-\frac{t}{\tau_{Lp}}} - \cos(\omega t + \varphi + \xi) \right] \\ \psi_{st} = \frac{U_{phm}}{\omega W} \\ \xi = \arctan^{-1} \frac{r_{Lp}}{\omega L_p} \\ Z_{Lp} = r_{Lp} + j\omega L_p \end{array} \right., \quad (3)$$

де  $\psi_{st}$  визначається як стаціонарний потік;

$\xi$  використовується для компенсації фазового кута струму;

$Z_{Lp}$  – імпеданс протидугової котушки;

$\tau_{Lp}$  – постійна часу потоку.

Зважаючи, що  $r_{Lp} \ll \omega L_p$  та після підстановки коли  $Z_{Lp} \approx \omega L_p$ ;  $\xi \approx 0$  в (3) можна отримати наступне:

$$\psi_{Lp} = \psi_{st} \left[ \cos \varphi e^{-\frac{t}{\tau_{Lp}}} - \cos(\omega t + \varphi) \right]. \quad (4)$$

Тоді рівняння (5) виражає струм в котушці протидугового струму наступним чином:

$$i_{0L_p} = I_{0L_{pm}} \left[ \cos \varphi e^{-\frac{t}{\tau_{L_p}}} - \cos(\omega t + \varphi) \right]. \quad (5)$$

Рівняння (5) показує, що перехідний струм в котушці включає компонент частоти мережі та затухаючу компоненту постійного струму.

Для швидкого та точного вибору несправної лінії при однофазних замиканнях на землю в розподільних мережах середньої напруги з резонансно-заземленою нейтраллю в дослідженні пропонується метод, заснований на характеристиках потужності нульової послідовності.

[1] Семененко Ю. О., Серeda Олександр Г., Серeda Олена Г., Семененко О. Д., Аналіз проблем неселективної дії захисту від однофазних замикань на землю в мережах середньої напруги. – Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит. Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». Харків. 2025. № 9(212). С. 17-27.

[2] Серeda О. Г. Здатність металокерамічних контактів струмообмежувальних автоматичних вимикачів комутувати граничні струми короткого замикання / Електротехніка і електромеханіка. 2005. № 3. С. 45-47.

**УДК 538.95**

## **БАГАТОШАРОВІ ПОКРИТТЯ: СТРУКТУРА, ВЛАСТИВОСТІ ТА ВИБІР МАТЕРІАЛІВ**

### **MULTILAYER COATINGS: STRUCTURE, PROPERTIES AND SELECTION OF MATERIALS**

*канд. техн. наук, Ю.В. Широкий<sup>1</sup>, докт. техн. наук, Ю.О. Сисоєв<sup>1</sup>,  
канд. техн. наук, Ю.О. Семененко<sup>2</sup>, О.Д. Семененко<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»  
(м. Харків),*

<sup>2</sup>*Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

*Y.V. Shyrokyi<sup>1</sup>, PhD (Tech.), Y.O. Sysoiev<sup>1</sup> D.Sc. (Tech.),  
Y.O. Semenenko<sup>2</sup>, PhD (Tech.), O.D. Semenenko<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute» (Kharkiv),*  
<sup>2</sup>*Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Багатошарові покриття формуються з кількох шарів, нанесених один за одним, з чітко визначеною границею між ними. Кожен окремий шар є однорідним як за хімічним складом, так і за мікроструктурою. Такий метод дозволяє значно покращувати різні характеристики в порівнянні з однокомпонентними покриттями. Велике значення має підбір матеріалів для кожного шару. На рис. 1 показано приклади речовин, які можуть використовуватися в таких системах. Речовини з ковалентними зв'язками вирізняються підвищеною твердістю та стійкістю до високих температур.

Матеріали з металевим типом зв'язків, своєю чергою, забезпечують сильну адгезію та високу механічну міцність.

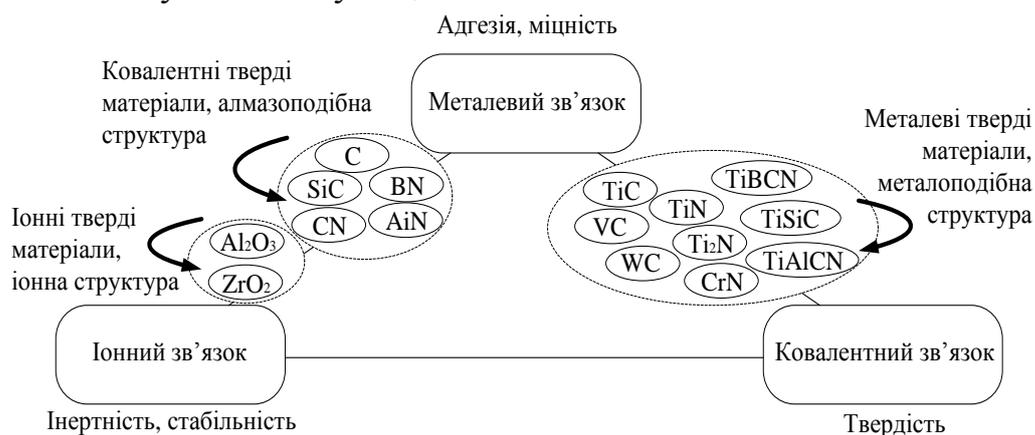


Рис. 1. Тверді матеріали для наноконпозиційних покриттів та зміна їх властивостей залежно від типу зв'язків [2]

Матеріали з іонним зв'язком демонструють відмінну стабільність та інертність як за нормальних умов, так і в умовах підвищених температур. За останні 10 років було розроблено велику кількість багат шарових покриттів у системах: а) кераміка/кераміка (TiN/MeN, Me = Cr, Zr, Mo, Nb, Ta; AlTiN/MeN, Me = Cr, Zr, Mo, V, W, Nb, TiSiN/CrN, ZrN/W<sub>2</sub>N, CrN/ZrN, Ti-Al-N/TiAlZrN, Ti-Al-N/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, TiC/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> та TiN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>); б) кераміка/метал (AlTiN/Cu, ZrN/W, CrN/Cr, TiN/CrN/Ti та Ti-Al-N/Mo); в) кераміка/DLC (наприклад, TiC/a-C, CrN/DLC). Багат шарові покриття також можуть бути засновані на одному матеріалі, але з різною мікроструктурою у проміжних шарах.

При створенні багат шарових покриттів ключовими факторами є число шарів, товщина кожного з них, пропорції товщин між шарами та інтервал їхнього чергування. Регулюючи ці характеристики, можна значно покращити механічні й трибологічні параметри покриттів у порівнянні з вихідними матеріалами, підвищити їхню термостійкість, опірність до повторюваних ударних впливів, а для покриттів на ріжучих інструментах – істотно продовжити термін служби. У таких системах розмір кожного перехідного шару та співвідношення їхніх товщин дають змогу істотно модифікувати мікроструктуру та характеристики покриттів. Для багат шарових систем TiC/TiB<sub>2</sub> ударна в'язкість зменшувалася від 3,34 до 2,52 м<sup>1/2</sup> при зростанні числа шарів від 4 до 10. Аналогічно, для покриттів TiN/TiBN при зменшенні періоду шарів від 9,7 до 1,8 нм твердість збільшувалася від 18,7 до 29,5 ГПа, тоді як для базових компонентів TiN та TiBN вона дорівнювала 22,7 та 16,8 ГПа відповідно. Така кореляція механічних характеристик багат шарових систем із періодом бінарного (або багатоконпонентного) шару є досить поширеною.

У підсумку, багат шарові покриття представляють собою потужний інструмент для оптимізації механічних, трибологічних та інших властивостей матеріалів, дозволяючи досягати значних покращень порівняно з монокомпонентними системами. Варіювання параметрів, таких як кількість

шарів, їх товщина та період чергування, дає змогу не лише підвищувати твердість, термостійкість і опірність до навантажень, але й покращувати антикорозійні характеристики та адгезійну міцність. Приклади з досліджень, як-от системи TiN/CNx, TiN/TiBN чи CrN/W2N [1], демонструють, що зменшення періоду шарів часто призводить до зростання твердості та зниження коефіцієнта тертя, що робить такі покриття ідеальними для застосування в ріжучих інструментах та інших високонавантажених елементах.

Загалом, вибір матеріалів з різними типами зв'язків — ковалентними для твердості та термічної стабільності, металевими для адгезії та міцності — є ключовим фактором успіху багат шарових структур. Це відкриває перспективи для подальших інновацій у матеріалознавстві, де комбінація шарів може вирішувати складні інженерні завдання, подовжуючи ресурс ріжучого інструменту та підвищуючи його ефективність. Майбутні дослідження мають фокусуватися на оптимізації цих параметрів для конкретних галузей, аби максимально реалізувати потенціал багат шарових покриттів у промисловості.

[1] Моделювання умов отримання наноструктур в алюмінієвих сплавах при дії іонізуючого випромінювання / Ю. В. Широкий, Ю. О. Сисоєв, Т. В. Постельник //Авіаційно-космічно техніка та технологія: сб. науч. тр. Нац. аерокосм. ун-т «ХАІ». X. – 2022. – Вип. 2. – С.55-63. <https://doi.org/10.32620/aktt.2022.2.07>

[2] Вплив характеру завдання теплофізичних і термомеханічних характеристик магнієвих сплавів при обробці з метою отримання наноструктур іонами з використанням стохастичних значень і отриманих квантово-механічним методом / Г. І. Костюк, О. Д. Григор, А. В. Матвеев // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні – Харків, 2017. – Вип. № 17 (1239) – С. 78-82.

**УДК 621.833: 629.423.2**

## **ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ЗНОСІВ ЗУБЦІВ І ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ТЯГОВИХ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ**

### **FEATURES OF DETERMINING OPERATIONAL WEAR OF TEETH AND RESIDUAL RESOURCE OF TRACTION GEAR TRANSMISSIONS**

*докт. техн. наук В.І. Мороз, канд. техн. наук О.А. Логвіненко,  
канд. техн. наук В.І. Громов*

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

*V.I. Moroz, D.Sc. (Tech.), O.A. Lohvinenko, PhD (Tech.),  
V.I. Hromov, PhD (Tech.)*

*Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

В сучасних умовах особливої актуальності набуває забезпечення працездатності і надійності рухомого складу залізниць. Це визначає складні задачі з удосконалення технологій технічного обслуговування і ремонту основних модулів конструкції сучасних локомотивів, їх тягових приводів, відповідних тягових зубчастих передач (ТЗП) [1]. Так при ремонтах ТЗП

виникає необхідність визначення величини і особливостей експлуатаційних зносів шестерні ( $Ш$ ) і колеса ( $К$ ), оцінювання очікуемого залишкового ресурсу тягової зубчастої передачі. В доповіді розглянуто особливості вирішення такої задачі з використанням розробленого в Українському державному університеті залізничного транспорту експериментально-розрахункового методу.

В узагальненому описанні метод передбачає послідовне проведення чотирьох етапів.

На першому етапі проводиться експериментальне дослідження з визначення ступеня і особливостей зносу зубців  $Ш$  і  $К$ . Обґрунтовано, що при ремонтах ТЗП їх технічний стан (ступень зносу) доцільно визначати за величиною зносів зубців не за ділильними, а за постійними хордами. Це дозволить більш точно контролювати моменти їх наближення до граничних зносів [2]. Для визначення товщин зубців по всій їх висоті використовується патенто захищений спосіб [3].

На другому етапі формується математичне описання отриманих експериментальних профілів зубців  $Ш$  та  $К$  (по всій висоті зубця). Це важливо, тому що для уточненого оцінювання технічного стану ТЗП (окрім зменшення товщин зубців за ділильними чи постійними хордами) потрібні отримані на основі визначених експериментально координат аналітичні описання робочих профілів  $Ш$  та  $К$  для визначення поточних точок їх контакту в процесі зачеплення – геометричних координат реальної лінії зачеплення.

На третьому етапі виконується математичне моделювання та аналіз характеристик зачеплення зубців  $Ш$  та  $К$  з визначеними ступенями і особливостями зносу контактуючих поверхонь [4].

Для визначення координат поточних точок контакту профілів зубців  $Ш$  та  $К$  використовується метод перетворення координат (метод Г.Ф. Морошкіна) з відповідним матричним записом системи рівнянь, що використовуються. Наводяться приклади отриманих характеристик і параметри зачеплення.

На четвертому етапі виконується розрахунок залишкового ресурсу ТЗП з визначеними ступенями зносу зубців  $Ш$  та  $К$  за уточненими величинами їх геометричних параметрів та показників зачеплення.

Використання представленого в доповіді методу дозволяє підвищити точність визначення показників зачеплення та очікуемого залишкового ресурсу до 12%.

[1] Еволюція транспорту та сучасна проблема Української залізниці / С.В. Панченко, Є.І. Балака, В.В. Панченко, М.Є. Резуненко // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. Харків. 2022. Вип. 199. С. 89-98.

[2] Братченко О.В., Громов В.І. Особливості експериментального визначення ступенів зносу тягових зубчастих передач моторвагонного рухомого складу. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І.Вернадського, серія «Технічні науки»*. Київ. 2018. Т.29 (68). №2. С. 295 – 298.

[3] Мороз В.І., Бобрицький С.В., Громов В.І., Анацький О.О. Комп'ютерна програма «Зубомір». *Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 63194. Дата реєстрації 24.12.2015.*

[4] Бабаєв М.М., Громов В.І. Особливості математичного моделювання характеристик зачеплення тягових зубчастих передач з урахуванням ступеня зносу зубців. Матеріали 30-ї міжнародної науково-практичної конференції *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті* (м. Харків, грудень 2017 р.). Харків. 2017. №4. С. 49 – 50.

**ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ  
ЯКОСТІ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ  
ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ**

**USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO IMPROVE THE QUALITY OF  
TECHNICAL MAINTENANCE AND REPAIR OF TRACTION ROLLING  
STOCK**

*Ю.В. Верещака<sup>1</sup>, канд. техн. наук Г.Л. Комарова<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>АТ «Укрзалізниця», філія «Локомотивна компанія» (м.Київ)*

*<sup>2</sup>Український державний університет залізничного транспорту (м.Харків)*

*Y.V. Vereshchaka<sup>1</sup>, G.L. Komarova<sup>2</sup>, PhD (Tech.)*

*1 JSC "Ukrainian railways", branch "Locomotive Company" (Kyiv)*

*2 Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю впровадження інноваційних підходів до технічного обслуговування і ремонту тягового рухомого складу в умовах підвищеного рівня зношеності вузлів та агрегатів. Традиційні методи планово-попереджувального обслуговування у сучасних умовах не забезпечують належної ефективності, що формує потребу у переході до цифрових технологій, зокрема застосування ШІ [2]. У зв'язку з цим метою дослідження є розроблення моделі використання ШІ для підвищення точності діагностики, покращення надійності тягового рухомого складу та зниження загальних витрат на його експлуатацію.

Для систематизації виявлених проблем застосовано причинно-наслідкову діаграму Ісікави [1]. Використання цього інструмента дозволило структурувати всі чинники, що впливають на якість роботи ремонтного цеху, відокремити найкритичніші з них та сформувані основу для подальшого проектування інноваційної системи управління ремонтів.



Рис.1. Причинно-наслідкова діаграма Ісікави з розподілом причин щодо надання послуг з ремонту

Розроблена система «NextElectroLoco» забезпечує оптимізацію графіків обслуговування шляхом формування адаптивних планів ремонту з урахуванням реального технічного стану вузлів, умов експлуатації та прогнозованого ресурсу компонентів. Водночас система автоматизує процес прийняття рішень, надаючи персоналу рекомендації щодо необхідності проведення діагностики, заміни агрегатів або виконання профілактичних робіт [3]. Інтерфейс користувача передбачає доступ до аналітичних звітів, діагностичних карт і візуалізації стану рухомого складу. Додатковою перевагою є інтеграція з іншими інформаційними системами підприємства, зокрема службою матеріально-технічного забезпечення, що забезпечує узгодженість функціонування всієї екосистеми обслуговування та ремонту. Практична реалізація концепції розпочата на базі Електровозного депо Харків-Головне, де створено дослідний зразок мультифункціонального блоку контролю приладів захисту, встановлений на електровозі ЧС7 №185.

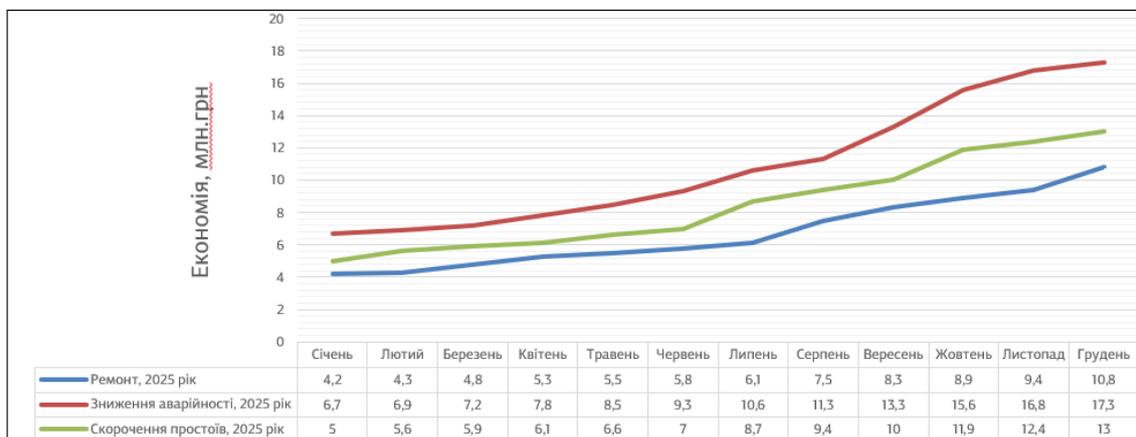


Рис.2. Діаграма очікуваних результатів впровадження інноваційної системи «NextElectroLoco»

Проведена оцінка економічної ефективності свідчить про значні переваги впровадження системи «NextElectroLoco». За умови річного бюджету на ремонт в розмірі 1 млрд грн прогнозується зниження витрат на ремонт на 9%, зменшення аварійності на 16% і скорочення простоїв на 12%. В перші місяці після впровадження система демонструє помірний результат, однак починаючи з другого кварталу ефективність стабільно зростає. В другому півріччі система досягає максимальних показників, а сумарний річний економічний ефект становить 313,8 млн. грн., що підтверджує високу доцільність та ефективність її застосування.

[1] Комарова Г.Л. Букін Р.В. Практичне вивчення метрології, стандартизації і контролю якості. Матеріали 19-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Якість, стандартизація, контроль: теорія і практика», Одеса, 09-13 вересня 2019р.: Тези доповідей. Київ: АТМ України, – С.67-69.

[2] Проектування комп'ютеризованих вимірювальних систем і комплексів. Навч. пос. / М. Паламар, М. Стрембіцький, А. Паламар. – Тернопіль, 2018. – 150 с.

[3] Kalsi H.S. Electronic instrumentation; edition by H.S. Kalsi. – Third edition. – New Delhi: Tata McGraw-Hill Education, 2012. – 829 p.

УДК 629.229.2:621.355.8

## СИСТЕМИ ЗАРЯДУ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ: КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ТОПОЛОГІЯ

### ELECTRIC VEHICLE CHARGING SYSTEMS: CLASSIFICATION AND TOPOLOGY

*канд. техн. наук В.О. Ярута,  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет (м. Харків)*

*V.O. Yaruta Ph.D. (Eng)  
Kharkiv National Automobile and Highway University (Kharkiv)*

Світові тенденції щодо зменшення екологічного впливу та розвиток технологій електричного приводу зумовили зростання популярності електромобілів. Їх важливою характеристикою є ємність тягової акумуляторної батареї. Намагання збільшити дальність автономного пробігу автомобіля вимагає збільшення її ємності та енергії зарядження, що призводить до збільшення навантаження на мережу живлення та підвищення вимог до зарядних систем, збільшуючи їх вартість.

З метою пошуку шляхів зниження собівартості зарядних систем розглянемо їх класифікацію та схемні рішення.

Системи заряду електромобілів бувають: бортовими (on-board): інтегрована в електромобіль система заряду змінним струмом (AC), обмежена за вагою, об'ємом, розміром та вартістю, а, отже і потужністю; зовнішніми (off-board): зазвичай це стаціонарна електроустановка або зарядна станція, що дозволяє виконувати швидку зарядку високої потужності постійним струмом (DC) та не має жорстких обмежень щодо розміру, ваги та простору; однонаправленими: дозволяють заряджати електромобіль, але не можуть передавати енергію назад у стаціонарну мережу; двонаправленими: дозволяють повертати електроенергію в мережу з необхідним коефіцієнтом потужності, використовуючи активний мережевий двонаправлений перетворювач AC/DC та двонаправлений DC/DC перетворювач; дротовими (струмопровідними): передбачають використання проводів та безпосереднього контакту метал-метал для передачі енергії від мережі до електромобіля, забезпечують високу ефективність та надійність; індуктивними (бездротовими): для передачі енергії використовують принцип взаємної індукції, знаходяться на стадії розробки та класифікуються як статичні, динамічні (зарядження під час руху) та квазідинамічні (зарядження під час коротких зупинок).

Зарядні системи також поділяють за рівнем потужності, наприклад, відповідно до стандарту SAE J1772, на три рівні: рівень 1: зарядження відбувається від побутової розетки мережі змінного струму 120 В потужністю

до 1,9 кВт через кабель з блоком керування та може тривати декілька десятків годин; рівень 2: заряджання відбувається від мережі змінного струму до 240 В потужністю до 19,2 кВт та може тривати близько десяти годин; рівень швидкої зарядки постійним струмом: заряджання відбувається від зарядної станції постійним струмом напругою до 1000 В потужністю до 350 кВт та може тривати близько однієї години.

Зазвичай, схемотехнічно зарядні системи виконуються двоступінчатими: спочатку ставиться АС/DC перетворювач з коректором коефіцієнта потужності, потім – ізольований DC/DC перетворювач. Для першої ступені застосовуються топології: традиційного підвищувального перетворювача, найпростіша, але має великі втрати енергії; безмостового підвищувального перетворювача, забезпечує покращену ефективність завдяки зменшеній провідності силових пристроїв, але може створювати підвищені електромагнітні завади та нестабільність вхідної напруги; та підвищувального перетворювача з чередуванням, використовує паралельну роботу декількох перетворювачів із зсувом фаз для збільшення ефективної частоти перемикачів, що зменшує пульсації вхідного струму та розмір фільтра. Для другої ступені застосовуються топології: повномостового перетворювача зі схемою з перемикачів нульової напруги та фазовим зсувом або без неї; та високоефективного резонансного перетворювача. Також відомо використання інтегрованих топологій, які задля зменшення витрат, збільшення ефективності та корисного об'єму кузова об'єднують кілька функцій системи електроприводу автомобіля в одному електронному блоці чи модулі, наприклад, використовують силову електроніку двигуна/інвертора також для зарядки. До недоліків такого підходу відносять підвищення тепловідведення, вимог безпеки до ізоляції, збільшення електромагнітних завад тощо.

Вочевидь, зменшення собівартості виготовлення, ремонту та експлуатації електромобілів можливе у тому числі через гармонізацію, універсалізацію та уніфікацію схемних рішень зарядних систем та раціональний перерозподіл їх компонентів між обладнанням автомобілів та зовнішніх зарядних станцій. Вирішувати подібні задачі можна з використанням математичних методів еволюційної оптимізації таких, наприклад, як генетичні алгоритми або їх комбінації зі штучними нейронними мережами, що становить напрямок подальших досліджень.

1. Non-Integrated and Integrated On-Board Battery Chargers (iOBCs) for Electric Vehicles (EVs): A Critical Review / Fatemeh Nasr Esfahani et al. // *Energies*. 2024. Vol. 17. № 10. 2285. DOI: 10.3390/en17102285.
2. Shahed, M. T., & Harun-ur Rashid, A. B. M. Battery charging technologies and standards for electric vehicles: A state-of-the-art review, challenges, and future research prospects // *Energy Reports*. 2024. V. 11. P. 5978–5998. DOI: 10.1016/j.egy.2024.05.062.
3. Naseem, H., & Seok, J.-K. Recent Advances in Bidirectional Converters and Regenerative Braking Systems in Electric Vehicles // *Actuators*. 2025. V. 14, № 7. C. 347. DOI: 10.3390/act14070347
4. Difference between on-board charger and off-board charger / TCcharger. 17 Feb. 2023. On-Board Charger Blog. URL: <https://onboard-charger.com/blogs/on-board-charger/difference-between-on-board-charger-and-off-board-charger> (date of access: 30.11.2025).
5. Goldberg L. An Introduction to the SAE J1772 and CCS EV Charging Interfaces // *ElectronicDesign*. 2023. July 5. URL: <https://www.electronicdesign.com/markets/automotive/article/21267879/electronic-design-an-introduction-to-the-sae-j1772-and-ccs-ev-charging-interfaces> (date of access: 03.10.2025).

6. SAE Electric Vehicle and Plug in Hybrid Electric Vehicle Conductive Charge Coupler: J1772\_201710. Historical Standard 2017-10-13. Warrendale, PA : SAE International. DOI: 10.4271/J1772\_201710.
7. Waheed, A., Rehman, S. U., Alsaif, F., Rauf, S., Hossain, I., Pushkarna, M. et al.. Hybrid multimodule DC–DC converters accelerated by wide bandgap devices for electric vehicle systems. Scientific Reports. 2024. V. 14, № 1. P. 4554. DOI: 10.1038/S41598-024-55426-6.
8. Rana R., Saggu T. S., Letha S. S., Bakhsh F. I. V2G based bidirectional EV charger topologies and its control techniques: a review. // Discover Applied Sciences. 2024. V. 6, № 11. P. 1–25. DOI: 10.1007/s42452-024-06297-z.

УДК 631.372:532.5

## **ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ ЗМІН ХОДОВОЇ СИСТЕМИ ТРАКТОРІВ НА ПОКАЗНИКИ ПРОХІДНОСТІ ТА УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТУ**

### **INFLUENCE OF CONSTRUCTIVE CHANGES IN THE TRACTORS' UNDERCARRIAGE SYSTEM ON THE PASSABILITY AND SOIL COMPACTION INDICATORS**

*Голотюк М. В., Налобіна О. О., Джафарова А. Р.*

*Національний університет водного господарства та природокористування  
(м. Рівне)*

*Golotyuk M., Nalobina O., Dzhaifarova A.*

*National University of Water Management and Environmental Management  
(Rivne)*

У сучасних умовах розвитку аграрного виробництва підвищення ефективності використання мобільних енергетичних засобів є ключовим завданням інженерії в аграрному секторі. Одним із найважливіших напрямів є зменшення негативного впливу на ґрунт, що особливо актуально для інтенсивних технологій землеробства. Ущільнення ґрунту, спричинене ходовими системами тракторів, призводить до зниження пористості, погіршення повітряно-водного режиму, уповільнення росту кореневої системи рослин та зменшення врожайності. Паралельно з цим прохідність тракторів визначає можливість виконання технологічних операцій у складних умовах – на вологих ґрунтах, на схилах, після значних опадів. Тому дослідження впливу конструктивних змін ходових систем на зазначені показники набуває особливого значення.

Аналіз сучасних наукових джерел свідчить, що тип рушія, його геометричні параметри та конструктивні особливості суттєво визначають взаємодію машини з ґрунтовим середовищем. У роботах Сінчука О.М. підкреслюється важливість оптимізаційних залежностей між площею контакту коліс та питомим тиском. Поляков І.Є. [1, 2] доводить, що зміна тиску в шинах на 25–30 % суттєво впливає на структуру ґрунту, особливо на чорноземних та каштанових ґрунтах України. У дослідженнях Becker H. та Smith J. встановлено, що гусеничні рушії забезпечують підвищення прохідності на 30–45 % у порівнянні зі стандартними колесами завдяки рівномірному розподілу навантаження. Gupta R. і Khanna A. вказують на залежність буксування від опорної площі, жорсткості гуми та

конструкції протектора. Крім того, роботи американських і європейських дослідників (Zenkov A., Yumashev V.) демонструють, що удосконалення ходової системи дозволяє одночасно зменшити витрату пального через зниження буксування та підвищення тягового коефіцієнта [3, 4, 5].

У межах проведеного інженерного дослідження було розглянуто три групи конструктивних змін: зміна тиску в шинах, встановлення здвоєних коліс та використання гусеничних рушіїв. Моделювання проведено на основі методики визначення питомого тиску на ґрунт, яка враховує площу контакту, деформацію ґрунтового шару, фізико-механічні характеристики та показники тягової мобільності. Для ґрунтів з різною вологістю (14–28 %) була визначена глибина колії як основний параметр оцінки ущільнення. Паралельно оцінювалися показники буксування, тягового зусилля та коефіцієнта використання маси трактора.

Розрахунки показали, що зменшення тиску в шинах з 180 до 120 кПа збільшує площу контакту на 22 %, що призводить до зменшення питомого тиску на ґрунт із 132 до 108 кПа. Це дозволило зменшити глибину колії в середньому на 17 %. В умовах вологості ґрунту понад 25 % ефективність такого методу знижується, проте показники буксування все одно покращуються на 8–11 %.

Використання здвоєних коліс призвело до збільшення опорної поверхні на 98 %, зменшення ущільнення на 36–41 % та зниження буксування у важких польових умовах на 15–20 %. Водночас спостерігалось поліпшення рівномірності розподілу тиску по ширині колії, що також позитивно вплинуло на прохідність.

Найбільш ефективними виявилися гусеничні ходові системи. Питомий тиск на ґрунт зменшився з 132 до 45–52 кПа залежно від ширини гусениці. Це дало змогу знизити глибину колії майже втричі. Буксування не перевищувало 6–8 %, що суттєво менше, ніж у колісних тракторів. Тягове зусилля зросло на 20–27 %, а витрата пального при виконанні важких ґрунтообробних операцій зменшилася в середньому на 9–13 %.

Для демонстрації ефективності модернізації наведемо приклад. Трактор масою 6,2 т із шинами 16,9R38 при тиску 180 кПа має площу контакту однієї шини приблизно 0,18 м<sup>2</sup>. Питомий тиск становить близько 170 кПа. Після зниження тиску до 120 кПа площа контакту збільшилась до 0,24 м<sup>2</sup>, а питомий тиск зменшився до 127 кПа. При встановленні здвоєних коліс площа контакту зросла до 0,48 м<sup>2</sup>, а питомий тиск — знизився до 63 кПа. При застосуванні гусеничного рушія шириною 450 мм і довжиною контакту 1,4 м площа становила 0,63 м<sup>2</sup>, а питомий тиск дорівнював лише 45–48 кПа, що забезпечило мінімальне ущільнення ґрунту та найвищу прохідність.

Результати дослідження підтверджують, що конструктивні зміни ходової системи тракторів мають суттєвий вплив на основні показники взаємодії з ґрунтом. Найефективнішим є застосування гусеничних рушіїв, проте оптимальний вибір залежить від умов експлуатації, структури ґрунтового середовища та типу агротехнічної операції. Використання здвоєних коліс та зниження тиску в шинах є більш доступними рішеннями, які також

забезпечують значне зменшення ущільнення ґрунту і підвищення прохідності. Таким чином, удосконалення конструкції ходових систем є перспективним напрямом підвищення ефективності мобільних енергетичних засобів і зменшення їхнього екологічного впливу.

1. Ребров О. Ю. Визначення максимального тиску на ґрунт сільськогосподарських шин при різних способах баластування трактора / О. Ю. Ребров // Автомобільний транспорт. - 2019. - Вип. 45. - С. 112-122.

2. Roşca R., Cârlescu P., Țenu I., Vlahidis V., Perşu C. The Improvement of a Traction Model for Agricultural Tire–Soil Interaction. *Agriculture*. 2022. Vol. 12, No. 12.

3. Moinfar A., Shahgholi G., Abbaspour-Gilandeh Y., Herrera-Miranda I., Hernández-Hernández J. L., Herrera-Miranda M. A. Investigating the Effect of the Tractor Drive System Type on Soil Behavior under Tractor Tires. *Agronomy*. 2021. Vol. 11, No. 4.

4. Руденко В.А. Ущільнення ґрунту тракторами при роботі на схилі / Руденко В.А., Горовий М.В., Калнагуз О.М., Іржавський А.О // Матеріали XXI Міжнародної наукової конференції „Сучасні проблеми землеробської механіки” – Харків: ХНТУСГ, 2020. – С. 87.

5. Голотюк М.В. Дослідження впливу ущільнення ґрунту на його основні характеристики/ Налобіна О.О., Голотюк М.В., Пуць В.С. // Сільськогосподарські машини: зб.наук. ст. – Луцьк, 2023. – Вип. 49. – С.39-45.

**УДК 629.4**

## **РОЗРОБЛЕННЯ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ТА БАЗИ ПРАВИЛ НЕЙРО-НЕЧІТКОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНОЮ УСТАНОВКОЮ АВТОНОМНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ**

## **DEVELOPMENT OF THE STRUCTURAL SCHEME AND RULE BASE OF A NEURO-FUZZY CONTROL SYSTEM FOR THE DIESEL-GENERATOR UNIT OF AUTONOMOUS ROLLING STOCK**

*аспірант А.С. Залата*

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

*postgraduate student A.Z. Zalata*

*Ukrainian state university of railway transport (Kharkiv)*

У сучасних умовах експлуатації автономного рухомого складу зростає потреба у створенні високоефективних систем керування дизель-генераторними установками, здатних адаптуватися до мінливих зовнішніх і внутрішніх факторів. Нелінійність термодинамічних, електромеханічних та навантажувальних процесів у дизельному двигуні й генераторі призводить до значних відхилень робочих режимів, особливо за умови зміни профілю колії, маси поїзда та довжини ділянки руху. Традиційні системи регулювання, що базуються на фіксованих параметрах, не забезпечують необхідного рівня точності й динамічної стійкості, що зумовлює доцільність застосування інтелектуальних методів керування.

У межах дослідження розроблено інтегровану модель нейро-нечіткої системи керування, яка поєднує фізичне моделювання дизель-генераторної установки та адаптивні алгоритми обробки інформації. Робота [1] заклала фундамент архітектури ANFIS, яка поєднує нечітку логіку з механізмами

машинного навчання. У низці праць проаналізовано ефективність застосування нечітких регуляторів у складних технічних системах, включно з енергетичними та транспортними комплексами [2, 3].

Центральним елементом системи є база правил, що формує залежність між експлуатаційними умовами та оптимальною зміною потужності. База знань створюється у два взаємодоповнювальні способи: через побудову розширеної дискретної таблиці правил для різних комбінацій профілю колії, маси поїзда та довжини маршруту, а також шляхом кластеризації даних методом Fuzzy C-Means із подальшим нейронним навчанням, що забезпечує автоматичне формування функцій належності та уточнення структури правил. Інтерполяція дискретної бази дозволяє перейти від набору окремих умов до безперервної поверхні керувальних дій, що є ключовим для плавності та узгодженості адаптивного регулювання.

Структурна схема інтелектуальної системи охоплює моделі дизельного двигуна, системи наддуву, охолодження, інжекції палива, синхронного генератора та навантажувального модуля, між якими реалізовано взаємодію через уніфіковану віртуальну шину. Нейро-нечіткий контролер виконує фазифікацію вхідних параметрів, логічний висновок за базою правил та дефазифікацію керувальних впливів, що подаються на виконавчі механізми — регулятор подачі палива і систему збудження генератора. Система здатна адаптивно змінювати параметри керування в реальному часі, враховуючи динаміку навантаження, теплові процеси та вимоги до стабільності частоти обертання.

Експлуатаційні залежності, отримані в результаті моделювання, свідчать про структурну узгодженість роботи регулятора: зростання потужності на підйомах, зниження на спусках, масштабуємість впливів за масою поїзда та інтегральний характер корекцій на довгих ділянках. Результати демонструють здатність нейро-нечіткої системи забезпечувати енергоефективний розподіл потужності, стабілізацію параметрів дизель-генератора та зменшення паливних витрат у широкому діапазоні режимів.

Таким чином, інтеграція нейро-нечітких методів у систему керування дизель-генераторною установкою забезпечує якісно новий рівень адаптивності та прогнозованості дій, розкриває можливості оптимізації робочих процесів і створює основу для розробки інтелектуальних тягових енергетичних комплексів, здатних ефективно функціонувати у складних та варіативних умовах реальної експлуатації.

[1] Jurado F. Neuro-fuzzy control for autonomous wind–diesel systems. *Renewable Energy*. 2002. Vol. 27, No. 3. P. 345–358.

[2] Reis G. B., de Souza R. A., Alves A. Performance improvement of a diesel generating set with digital control and fuzzy logic. *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science (WCECS 2013)*. San Francisco, 2013. P. 241–246.

[3] J. Wei, J. Min. A fuzzy control system of diesel generator speed. *Journal of System Simulation*. 2009. Vol. 21, No. 10. P. 3053–3057.

**ОЗДОБЛЮВАЛЬНО-ЗАЧИЩУВАЛЬНА ОБРОБКА ДЕТАЛЕЙ У  
ВІБРАЦІЙНО-ВІДЦЕНТРОВІЙ УСТАНОВЦІ**

**FINISHING AND CLEANING TREATMENT OF PARTS IN A VIBRATION-  
CENTRIFUGING MACHINE**

*М. В. Пікула*

*Національний університет водного господарства та природокористування  
(м. Рівне)*

*Mykola PIKULA*

*National University Of Water And Environmental Engineering (Rivne)*

Проблема очищення зовнішніх і внутрішніх поверхонь деталей від окалини, оксидів, маслянистих забруднень, заокруглення гострих кромки і видалення задирок на машинобудівних та ремонтних підприємствах існує давно. Особливо це стосується деталей складної конфігурації, виготовлених литтям, штампуванням чи обробкою різанням.

Для вирішення цієї проблеми, в основному, використовують такі методи очищення як механічний (вібраційна, галтувальна, відцентрово-планетарна та відцентрово-ротаційна, струминна обробки), фізичний (ультразвукова обробка), хімічний (обробка синтетичними миючими та розчинно-емульгуючими засобами), комбінований (фізико-хімічна, фізико-механічна обробки).

Темпи розвитку сучасних технологій машинобудівної галузі та ремонтного виробництва постійно вимагають пошуку нових способів і методів оздоблювально-зачищувальної і зміцнювальної обробки (ОЗіЗО), які мають високу продуктивність, широкі технологічні можливості, характеризується універсальністю, малою енергоємністю, простотою утилізації відходів та легкістю забезпечення відповідності санітарним нормам.

Одним з ефективних шляхів вирішення цього завдання є проведення ОЗіЗО деталей машин гранульованими середовищами в технологічних системах відцентрово-вібраційного типу, робоча камера яких здійснює складні рухи. Перевагами таких технологічних систем є розширення діапазону змін результуючих векторів переміщень деталей і гранульованих середовищ, підвищення інтенсивності їх переміщення та переорієнтації. Це зумовлює перспективність їхнього застосування для підвищення продуктивності ОЗіЗО.

Разом із тим існує ще чимало невирішених питань, що стримує практичне застосування ОЗіЗО в гранульованих робочих середовищах. Зокрема, нема єдиного підходу до опису кінематики руху гранульованих робочих середовищ та їхньої контактної взаємодії з оброблюваною деталлю, недостатньо обґрунтовано зв'язок якості та інтенсивності процесу з конструктивними параметрами установок, відсутні відповідні аналітичні залежності. Все це і визначає актуальність досліджень у сфері вібраційних технологій ОЗіЗО.

Ефективним шляхом виконання ОЗіЗО деталей є використання технологічних систем з горизонтальною віссю обертання робочої камери чи її елементів. Це дозволяє реалізувати процес об'ємної ОЗіЗО по всьому профілю деталі та дозволяти безперешкодний рух деталі через робочу зону.

Одним з конструктивних рішень технологічної системи для ОЗіЗО різнопрофільних деталей [1] є установка, яка дозволяє забезпечити високоенергетичний процес обробки деталей у робочій зоні, створеній циліндричною вставкою та двома напівбарабанами, вільно встановленими на вставці. Напівбарабани обертаються у вставці, причому їх приводи забезпечують зустрічне обертання напівбарабанів. А встановлення циліндричної вставки в карданному підвісі забезпечує її рух у формі конуса.

Переміщення маси робочого середовища в установці можна розділити на два етапи: рух у безпосередньому контакті зі стінками установки та рух у відриві від цих поверхонь. Аналіз кінематики руху частинок оброблювального середовища, що прилягає до стінок установки, дозволяє отримати залежності абсолютної швидкості та прискорення частинок оброблювального середовища від геометричних параметрів вставки та кута її нахилу до осі обертання. Це початкові умови для визначення динамічних характеристик середовища, що дозволяє розглянути умови відривання їхніх частинок, коли елементи маси завантаження переходять у ковзний режим. При скочуванні верхні шари маси завантаження обертаються навколо своїх осей, втягуючи прилеглі шари частинок мас завантаження, і ті в результаті перекочуються відносно один одного. Крім цього, при скочуванні лавиною по нерівній поверхні нижчих шарів відбуваються додаткові мікроудари та ковзання часток мас завантаження.

Інтенсивність перебігу цих процесів залежить від розмірів робочої зони, мас інгредієнтів гранульованого середовища, геометрії робочого об'єму і коефіцієнта його заповнення, швидкості обертання напівбарабанів та інших факторів. Зміна кута нахилу вставки щодо осі її підвісу забезпечує додаткове поздовжнє переміщення маси оброблювального середовища і змінює загальний характер її руху.

Маса робочого середовища може переміщатися між напівбарабанами (від периферії до центру і назад), здійснюючи циркуляційний рух і змінюючи при цьому щільність середовища в різних зонах робочого об'єму. Отож, інгредієнти робочого середовища здійснюють складний рух, що складається з поступального переміщення разом з елементарним шаром, та коливання з незначною амплітудою [1].

Зі сказаного слідує, що основними характеристиками, які визначають технологічний ефект обробки, є тиск середовища та швидкість її переміщення. Ці два фактори в сукупності визначають щільність енергетичного впливу потоку гранульованого середовища на поверхню деталі і ефективність обробки.

[1] М.В. Пікула. Синтез нових схем вібраційно-відцентрових установок // Наукові нотатки. – Вип. 37. – Луцьк: ЛНТУ, 2012. – С. 266-271.

## НАПРЯМКИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГАЛЬМОВИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОЇЗДІВ

### DIRECTIONS FOR IMPROVING THE EFFICIENCY OF ELECTRIC TRAIN BRAKING SYSTEMS

*Герасименко О.В., Федик М.Д., канд. техн. наук Сумцов А.Л*  
*Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

*Gerasimenko O.V., Fedyk M.D., PhD (Tech.) Sumtsov A.L.*  
*Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Сучасні умови експлуатації електропоїздів вимагають значного підвищення енергоефективності, надійності та безпеки гальмівних систем, що зумовлює необхідність комплексного наукового підходу до їх удосконалення. Зростання транспортних потоків, підвищення швидкостей руху та орієнтація на енергозбереження роблять особливо актуальними дослідження у сфері використання енергії, яка виникає під час гальмування шляхом застосування рекуперативного гальмування, яке дозволяє повертати частину енергії у контактну мережу та зменшувати навантаження на механічні гальма.

Актуальність дослідженню напрямків підвищення ефективності гальмової системи надають вимоги до стабільності гальмування за умов зниженого коефіцієнта зчеплення, що особливо актуально в умовах кліматичних коливань, інтенсивної експлуатації інфраструктури та підвищенню вимог до оперативного реагування на загрози безпеці руху. Розвиток протизюзних систем, оптимізація подачі піску, аналіз теплових режимів гальмівних дисків і впровадження нових композитних матеріалів є критичними напрямками для підвищення надійності та довговічності гальмівних елементів. Водночас інтеграція електричних і пневматичних гальм, створення резервованих контурів і застосування математичного моделювання забезпечують дотримання високих стандартів безпеки, що робить дослідження гальмівних систем електропоїздів своєчасним та стратегічно важливим для галузі залізничного транспорту.

Сучасні дослідження [1-3] акцентують увагу на рекуперативному гальмуванні як ключовому елементі підвищення ефективності. Метою є максимізація енергії, що повертається в контактну мережу під час гальмування. Це вимагає не лише вдосконалення тягових перетворювачів та систем управління, але й детального аналізу впливу режимів руху на кінцеву ефективність рекуперації. Ефективне використання рекуперації не тільки знижує експлуатаційні витрати, але й зменшує теплове навантаження на механічні гальма.

Для забезпечення максимальної надійності та зменшення часу реакції необхідна інтеграція та синхронізація електричного та пневматичного гальмування. Удосконалення традиційних пневматичних систем, зокрема,

повітророзподільників, залишається актуальним для скорочення часу спрацьовування. Комплексне електропневматичне гальмування дозволяє досягти оптимальної гальмівної сили в усьому діапазоні швидкостей, забезпечуючи при цьому плавне регулювання та швидкість реакції.

Важливим аспектом підвищення ефективності є забезпечення стабільності гальмування є робота в умовах зниженого коефіцієнта зчеплення – наприклад, на мокрих або обмерзлих рейках. Особливо важким є осінній період, коли опале листя налипає на рейки суттєво знижуючи зчеплення колеса з рейкою. Застосування сучасних протизюзних систем та інтелектуальне керування коефіцієнтом зчеплення за рахунок використання регульованої подачі піску є критично важливим для запобігання ковзанню коліс та збереження короткого гальмівного шляху. Крім того, дослідження теплового режиму гальмівних дисків допомагають запобігти перегріву та подальшому зниженню ефективності тертя, особливо для високошвидкісних поїздів.

Для підвищення загальної надійності системи активно використовуються математичне моделювання та діагностичні системи. Це дозволяє прогнозувати поведінку гальм, ідентифікувати потенційні несправності та оптимізувати параметри управління. Паралельно ведуться розробки у сфері матеріалознавства, що передбачають впровадження нових композитних матеріалів для гальмівних колодок. Ці матеріали мають забезпечити більшу зносостійкість, стабільний коефіцієнт тертя та зменшення шуму. Аналогічні вимоги висувають до сучасних чавунних колодок, що досягається розвитком досліджень форми колодок та складу чавуну.

Забезпечення безпеки руху є пріоритетом, що вимагає уваги до резервування гальмівних систем. Особливо для швидкісних маршрутів, необхідність дублюючих контурів, здатних забезпечити необхідний гальмівний шлях навіть у разі відмови основної системи, є критичною. Загалом, підвищення ефективності гальмівної системи електропоїздів є комплексним завданням, яке охоплює енергозбереження, матеріалознавство, кібернетику та механіку.

Інновації у сфері рекуперації гальмівної енергії, матеріалознавства, протизюзного захисту, терморегулювання та діагностики сприяють зменшенню експлуатаційних витрат і підвищенню безпеки, тоді як інтеграція резервування гальмівних контурів забезпечують надійну роботу поїзда у широкому діапазоні умов експлуатації з забезпеченням вимог безпеки руху.

[1] Методи і засоби технічної діагностики гальмівної системи електропоїзда : монографія / Ю.А. Лобатюк, О. Б. Мокін, Б. І. Мокін. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 100 с

[2] Сафронов О. М. Створення та впровадження в Україні сучасного моторвагонного складу залізниць для здійснення швидкісних перевезень пасажирів. / Сафронов О. М. // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. Випуск 184 (додаток). Тези доповідей II Всеукраїнської конференції «Вагони нового покоління: із ХХ в ХХІ сторіччя» Харків 2019 – С. 47 – 48

[3] Сумцов А. Л. Класифікація споживання енергії при визначенні енергетичного балансу моторвагонного рухомого складу / А. Л. Сумцов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: тези стендових доповідей та виступів учасників 38-ї Міжнар. наук.-практ. конф. (Харків, 9-10 жовтня 2025 р.). – ІКСЗТ. – 2025. – № 3 (додаток). – С. 72-73.

**ЗАХИСТ ЖИТЛОВИХ ТЕРИТОРІЙ м. ПІДГОРОДНЄ ВІД ШУМУ  
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

**PROTECTING RESIDENTIAL AREAS IN THE CITY OF PIDGORODNE  
FROM RAILWAY NOISE**

*канд. техн. наук, В.В. Гільов*

*Український державний університет науки і технологій, ННІ ПДАБА  
(м. Дніпро)*

*Ph.D., V. V. Hilov*

*Ukrainian State University of Science and Technologies, SEI PSACEA  
(Dnipro)*

Для забезпечення комфортного довкілля людей, необхідно під час забудови міста або будь-якого іншого населеного пункту особливу увагу слід приділяти благоустрою територій, навколишнього середовища, попереджати все, що може призвести до можливих подразнень [1, 2].

Залізничний транспорт – велике досягнення людства. Це перш за все транспортне пересування людей та вантажів, яке має велике значення для життєдіяльності людини. Надзвичайно важно і актуально у сучасний час подальший розвиток залізничного транспорту. Але розвиток його потрібно реалізовувати з урахуванням екологічних вимог безпеки. Сьогодні, в усьому світі, транспортні потоки є найбільш розповсюдженим джерелом впливу на навколишнє середовище, на селітебні території та їх мешканців.

Шумове забруднення житлових територій є актуальною проблемою особливо для людей, які живуть поблизу від залізничних доріг, тому метою роботи є запропонувати шумозахисні заходи для забезпечення акустичного комфорту населення, що мешкає вздовж залізниць у м. Підгороднє. Це передбачає вирішення наступних завдань :

1) встановлення рівня шумового забруднення від залізничного транспорту у м. Підгороднє;

2) визначення рівня шуму на житлових територіях, що розташовані вздовж залізничних колій та порівняння їх з допустимими на житловій території;

3) вибір заходів з шумозахисту житлових територій та їх розрахунок.

Через м. Підгороднє проходять дві залізничні дороги – одноколійна з м. Кам'янське у західній частині та двохоколійна з м. Дніпро у східній частині міста. Рівень шумового забруднення від залізничного транспорту визначався за допомогою ДСТУ-Н Б В.1.1-33:2013 [3]. За результатами розрахунку: для одноколіїної дороги еквівалентний рівень шуму на відстані 25 метрів склав 73,6 дБА, що відповідає рівню шуму біля залізничної колії 78,6 дБА, а для двохоколіїної дороги відповідно 75,2 дБА, та 80,2 дБА. Таким чином

встановлено, що клас шумового забруднення на залізницях становить 80 дБА. Максимальний рівень шуму складає 96,1 дБА.

При визначенні рівня шуму на межі житлової забудови велике значення має відстань між джерелом шуму та об'єктом шумозахисту. Вздовж одноколіїної залізниці в основному йде однобічне прилягання житлової забудови до залізниці. Розмір контактної-стикової зони складає від 40 до 100 метрів. Розташування житлової забудови відносно двохколіїної залізниці – двостороннє, розмір контактної-стикової зони складає від 20-30 метрів до 80-100 метрів частина якої зайнята зеленими насадженнями. Залізничний транспорт характеризується підвищеним рівнем шуму в цілодобовому режимі, тому найбільш небезпечним є шум для нічного часу доби. Розрахунок показав, що перевищення еквівалентного рівня шуму над нормативним (для нічного часу доби) складає від 5,9 дБА до 29 дБА. Це означає, що житлова забудова не захищена від шуму залізничного транспорту, тому потрібна розробка та впровадження різноманітних шумозахисних заходів.

Для створення якісного та екологічно безпечного знаходження людини на житлових територіях, у містобудівництві ми можемо використовувати різні заходи для зниження рівня шумового забруднення. Проаналізувавши можливі шляхи зменшення шуму від залізничного транспорту на житлову забудову для умов міста Підгороднє, найбільш придатним методом є влаштування шумозахисних екранів вздовж залізничних колій. Величину зниження рівня звуку екраном-стілкою визначаємо згідно ДСТУ-Н Б В.1.1-33:2013 [3].

За результатами розрахунку для забезпечення допустимого шумового режиму на житлових територіях (в нічний час доби) на різних ділянках потрібно встановити шумозахисний екран висотою від 4 до 8 метрів, з обмеженням швидкості руху поїздів у нічний час до 40 км/годину та встановлення шумозахисних вікон ефективністю 15 дБА для першого ешелону забудови з контактної-стиковою зоною 20-30 метрів.

Виходячи з вищевказаного слід зазначити, що простір, що оточує людину, повинен бути забезпечений захистом від шумового забруднення, щоб запобігти його впливу на здоров'я, емоційну сферу, працездатність людини. Необхідно створити сприятливі умови для комфортного проживання, праці та відпочинку населення. Багато уваги слід приділяти містобудівному проектуванню, тому що на цьому етапі можна запроєктувати для подальшого здійснення багато профілактичних заходів щодо захисту людей від небажаного шуму. Для захисту житлової забудови, що розташована вздовж залізничних шляхів в місті Підгороднє пропонується встановити прямі та Г-подібні комбіновані шумозахисні екрани висотою 4-8 метрів з використанням на шумозахисних екранах фотоелектричних панелей, що дозволить покращити показник його економічної ефективності.

1. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища», м. Київ, 25 червня 1991 року № 1264-ХІІ <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text>

2. ДБН В.1.1-31:2013. Захист територій, будинків і споруд від шуму. Київ, 2014. 54 с. (Інформація та документація).

3. Настанова з розрахунку та проектування захисту від шуму сельбищних територій : ДСТУ-Н Б В.1.1-33:2013 [Чинний з 2014-01-01]. – К.: Мінрегіон України, 2014. – 46 с.

**ВПЛИВ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ РЕМОНТУ НА  
ДЕКАРБОНІЗАЦІЮ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВИКИДІВ ДИЗЕЛЬНИХ  
ДВИГУНІВ ТЕПЛОВОЗІВ**

**IMPACT OF REPAIR SYSTEM IMPROVEMENT ON THE  
DECARBONIZATION OF OPERATIONAL EMISSIONS FROM DIESEL  
LOCOMOTIVE ENGINES**

*Д-р техн. наук В.Г. Пузир, канд. техн. наук А.О. Каграманян,  
канд. техн. наук М.Є. Резуненко, канд. техн. наук О.М. Обозний  
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

*D. Sc (Tech) V.G. Puzyr, PhD (Tech) A.O. Kagramanian,  
PhD (Tech) M.Ye. Rezunenko, PhD (Tech) O.M. Oboznyi  
Ukrainian state university of railway transport (Kharkiv)*

Тепловозна тяга сьогодні все ще залишається ключовим елементом залізничної системи України. Однак, технічний стан більшості тепловозів є далеким від оптимального: частина локомотивів експлуатується понад нормативні строки, а їхні силові установки працюють із підвищеним рівнем зношування. Це безпосередньо впливає на витрату палива та спричиняє зростання обсягів шкідливих викидів у атмосферу.

У сучасних умовах, коли на міжнародному рівні посилюються вимоги до декарбонізації та екологічної безпеки транспорту [1-3], зниження експлуатаційних викидів тепловозів стає не лише екологічною, але й економічною та стратегічною необхідністю.

В Україні на цей час для тепловозного парку діє галузевий стандарт ГСТУ 32.001-94 (зі змінами) [4], який нормує викиди забруднюючих речовин від дизелів тепловозів та методи їх визначення.

Згідно ГСТУ 32.001-94 нормуванню підлягають середньоексплуатаційні питомі викиди наступних забруднюючих речовин: монооксид вуглецю, сумарні вуглеводні, оксиди азоту та тверді частинки. Але цей стандарт поширюється на тепловозні дизелі при випробуваннях на реостатних пунктах локомотивних депо та станціях випробування дизелів тепловозоремонтних заводів. Це не дозволяє прогнозувати вплив експлуатації тепловозів на навколишнє середовище від дизелів.

На жаль, в Україні немає нормативного документу або методики визначення кількості викидів забруднюючих речовин від тепловозних дизелів та методики їх розрахунку під час руху.

Досягти реального зменшення викидів неможливо без системних змін у підходах до технічного обслуговування і ремонту тягового рухомого складу.

Саме якість ремонту визначає, наскільки ефективно працює дизель у міжремонтний період.

Перш за все, суттєвий вплив має стан циліндро-поршневої групи. Зношення кілець, гільз або поршнів призводить до втрати компресії, прориву газів та неповного згоряння палива.

Другим ключовим чинником є точність роботи паливної апаратури. Будь-які відхилення у характеристиках форсунок або паливного насоса порушують процес упорскування: змінюється кут випередження, порушується дисперсія палива.

Якість регулювальних робіт після ремонту визначає, наскільки точно відновлені заводські параметри двигуна. Навіть за незначних похибок у налаштуванні паливної апаратури чи системи газорозподілу відбувається зміщення робочих режимів, що підвищує витрату палива та концентрацію основних забруднювачів.

Одним із ключових напрямів удосконалення системи ремонту є перехід від планово-попереджувальної системи до ремонтів за технічним станом. Використання засобів діагностики в реальних режимах роботи дозволяє виявляти відхилення ще до того, як вони спричинять збільшення витрати палива чи токсичності вихлопу. Такий підхід мінімізує тривалу роботу двигуна в несприятливих режимах і сприятиме зниженню викидів.

Другим важливим аспектом є цифровізація процесів технічного обслуговування та ремонту. Створення електронних паспортів локомотивів, а також узагальнення даних про навантаження, температуру, тиск, параметри впорскування та інші показники дозволяє моделювати поведінку силової установки та прогнозувати деградацію її характеристик. Це забезпечує своєчасне втручання та підвищує екологічну стабільність.

Таким чином, удосконалення системи ремонту не лише підвищує надійність локомотивів, але й виступає важливим елементом загальної стратегії декарбонізації залізничного транспорту, забезпечуючи позитивний вплив як на екологічні показники, так і на ефективність експлуатації.

Подальшим напрямком для досліджень є створення математичної моделі розрахунку кількості забруднюючих речовин, які нормуються в Україні, під час руху тепловозів з урахуванням факторів, які впливають як на кількість, так і на якість викидів.

[1] ISO 8178-1:2020. Reciprocating internal combustion engines — Exhaust emission measurement — Part 1: Test-bed measurement systems — Technical requirements. Geneva: International Organization for Standardization, 2020. 58 p.

[2] Regulation (EU) 2016/1628 of the European Parliament and of the Council of 6 July 2016 on requirements relating to gaseous and particulate pollutant emission limits and type-approval for internal combustion engines for non-road mobile machinery. Official Journal of the European Union, L252, 2016, p. 53–117.

[3] Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe. Official Journal of the European Union, L152, 2008, p. 1–44.

[4] ГСТУ 32.001-94. Дизелі тепловозів. Норми та методи визначення димності і токсичності відпрацьованих газів. Київ: Укрзалізниця, 1994. 47 с.

**МОНІТОРИНГ СТАНУ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС ТЯГОВИХ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ РУХОМОГО СКЛАДУ В ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

**MONITORING THE CONDITION OF GEAR WHEELS OF TRACTION GEAR TRANSMISSIONS OF ROLLING STOCK IN OPERATION**

**к.т.н. С.В. Бобрицький<sup>1</sup>, О.О. Анацький<sup>2</sup>, Є.Ю. Бабенко<sup>3</sup>, Ю.Ю. Кіріяк**

<sup>1</sup>*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (м.Харків)*

<sup>2</sup>*Український державний університет залізничного транспорту (м.Харків)*

<sup>3</sup>*Харківський фаховий коледж транспортних технологій (м.Харків)*

**S.V. Bobrytskyi<sup>1</sup>, PhD (Tech.), O.O. Anatskyi<sup>2</sup>, E.Yu. Babenko<sup>3</sup>, Yu.Yu. Kiriak**

<sup>1</sup>*National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" (Kharkiv)*

<sup>2</sup>*Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

<sup>3</sup>*Kharkiv Professional College of Transport Technologies (Kharkiv)*

Досвід експлуатації тягового рухомого складу та аналіз пошкоджень його обладнання показує [1, 2], що на тягові приводи (ТП) припадає від 23 % (у моторвагонного рухомого складу (МВРС)) до 60 % (у електровозів) пошкоджень. При цьому пошкодження тягової зубчастої передачі (ТЗП) становлять від 11 % (для електровозів) до 63 % (для МВРС).

Базовим стандартом, що визначає характер руйнування зубчастих коліс є ДСТУ ISO 10825:2008 [3]. Наведені у зазначеному стандарті матеріали, застосовувались при дослідженні приводів загальномашинобудівного призначення [4, 5, 6], однак, при обстеженні зубчастих передач тягового рухомого складу потрібно, також, орієнтуватись на профільні джерела, які враховують особливості експлуатації ТЗП. До таких джерел можна віднести Правила технічної експлуатації залізниць [7], Правила технічного обслуговування та поточного ремонту електропоїздів та локомотивів [8], інструкції з ремонту та обслуговування обладнання рухомого складу [9] тощо.

Під час обстеження ТЗП були виявлені пошкодження, які можна класифікувати наступним чином:

1. Злам зуба (рис.1) – може відбуватися або біля основи по хорді основного кола (а, в) або з кутової частини зубця (б, г). При увігнутому перерізі (а, б), має місце втомне руйнування, при опуклому (в, г) причиною руйнування є короткочасні навантаження.

2. Викришування (рис. 2) пов'язане з впливом контактної напруги на поверхневі шари зубця, що призводить до утворення мікротріщин з подальшою їх трансформацією в мікролунки.

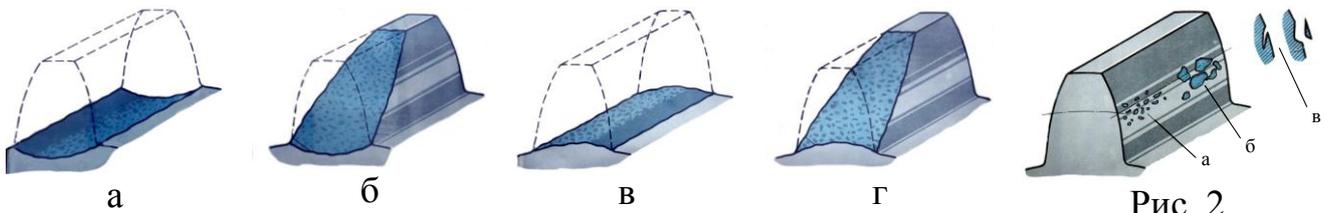


Рис. 1 Види зламу зубця

Рис. 2 Викришування

Наявність обмеженого (а) викришування не є критичним, тоді як прогресуюче (б) та відшаровування (в) призводять до виходу з ладу зубчастого зачеплення.

3. Заїдання (рис. 3) - є наслідком великих питомих тисків, що призводять до видавлювання масляної плівки із зони контакту і, як наслідок, виникнення молекулярного зчеплення. В результаті відбувається контактне схоплювання та утворення задирів на робочих поверхнях зубця.

4. Зношування (рис. 4) – пов'язане з абразивним пошкодженням бічної поверхні зуба, що призводить як до зменшення його поперечного перерізу, так і до спотворення форми профілю.

5. Пластична плинність (рис. 5) – відбувається при перевантаженнях у робочій зоні зачеплення.



Рис. 3 Заїдання робочої поверхні зуба

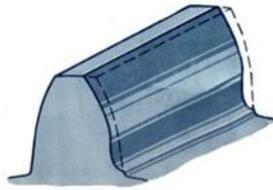


Рис. 4 Абразивне зношування зуба



Рис. 5. Пластична плинність матеріалу поверхні зуба

Дослідження показали, що до 80 % пошкоджень зубчастих коліс припадали на тріщини, які виникали та розвивались в ділянці ніжки зуба або у западині. Втолений характер тріщин підтверджується тим, що більша частина пошкоджень виявлялась при здійсненні ремонтів ПР-3. В той же час, строк служби коліс, що вибраковуюються через знос, на 30-50 % вище строку служби коліс, що вибраковуюються через пошкодження.

[1] Бобрицький С. Аналіз пошкоджень обладнання тягового рухомого складу. / С. Бобрицький, А. Сумцов, О. Анацький, І. Гришина, С. Бабенко. // Прикладні науково-технічні дослідження : матеріали VI міжнар. наук.-прак. конф., 14-16 трав. 2024 р. – Академія технічних наук України. – Івано-Франківськ : Видавець Кушнір Г. М. – 2024. – 292 с.

[2] Бобрицький С.В. Аналіз пошкоджень зубчастих коліс тягових передач моторвагонного рухомого складу в експлуатації / С.В. Бобрицький // Тези доповідей 78-ї міжнародна науково – технічної конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (м. Харків, 26 – 28 квітня 2016 р.). – Збірник наукових праць УкрДУЗТ. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – Вип.160 (додаток). – С. 64.

[3] ДСТУ ISO 10825:2008 Передачі зубчасті. Спрацювання та пошкодження зубців зубчастих коліс. Чинний від 2010-01-01. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт, 2013. 75 с.

[4] Гайдамака А.В. Про дослідження функціонування і зносу зубців проміжної шестерні редуктора вертикальних валків стану Слябінг-1150 / А.В. Гайдамака, В.В. Клітної, Г.Г. Кулик, С.В. Бобрицький, В.В. Татьков. // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXXII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2024, 22-25 травня 2024 р. / за ред. проф. Сокола С.І. – Харків: НТУ «ХПІ». – 176 с.

- [5] The Technical Condition Monitoring Model of Large Module Gears/ Anatoliy Gaydamaka, Volodymyr Klitnoi, Hennadii Kulyk, Serhii Bobrytskyi & Andrii Lukashov // Proceedings of Smart Technologies in Urban Engineering-2024, Volume 1 pp 204–214. DOI: 10.1007/978-3-032-06829-3\_19.
- [6] Study of the functioning and wear of the teeth of the intermediate gear of the vertical gearbox rolls of the slabbing state – 1150/ Dmytro Borodin, Anatoly Gaydamaka, Volodymyr Klitnoi, Gennady Kulik, Serhii Bobrytskyi // Diagnostyka 2025;26(1):2025110. DOI: <https://doi.org/10.29354/diag/200630>.
- [7] Про затвердження Правил технічної експлуатації залізниць України: Наказ (зі змінами) Міністерства транспорту України № 411 від 20.12.1996 . URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0050-97#Text>.
- [8] Правила технічного обслуговування та поточного ремонту електропоїздів і електросекцій: ЦТ–0046 – К., 2005. – 320 с.
- [9] Інструкція з технічного обслуговування і поточного ремонту вузла малої шестерні і пружної муфти електропоїздів. – К., 2003. – 68.

**UDK 629.42:62-233.3/9**

## **ANALYSIS OF THE PERFORMANCE OF GEAR TRANSMISSIONS**

### **АНАЛІЗ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ**

*S.V. Bobrytskyi, PhD (Tech.)*

*National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute” (Kharkiv)*

*канд. техн. наук С.В. Бобрицький*

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»  
(м.Харків)*

The operation of traction rolling stock and analysis of damage to its equipment show that traction drives in general and gear transmissions (GT) in particular account for a significant proportion of damage [1]. More than 80% of emergency failures of the latter are associated with the loss of gear transmission performance and, in particular, with a significant reduction in their load capacity. The value of this parameter for cylindrical gear wheels, which are used in the vast majority of cases in traction gear transmissions, is determined in accordance with the basic regulatory document, which is the DSTU ISO 6339-1: 2005 standard «Calculation of the load capacity of cylindrical spur and helical gears» [2].

During the examination of traction gearboxes, in order to ensure maximum objectivity of the observation results, parameters and definitions in accordance with general technical standards were used, such as: reliability, failure-free operation, service life, failures, independent failure, dependent failure, sudden failure, gradual failure [3].

Reliability – the property of an object to maintain all parameters characterising its ability to perform the required functions within specified limits over time, provided that it is properly maintained.

Fault tolerance – the property of an object to continuously maintain its operational condition.

Service life – the calendar duration from the start of operation of an object to its transition to a limit state.

Failures – 8 types of failures are considered, of which the following are decisive for gear wheels.

Independent failure – failure of an object not caused by the failure of another object.

Dependent failure – failure of an object caused by the failure of another object.

Sudden failure – a failure characterised by a sudden change in the value of one or more specified parameters of the object.

Gradual failure – a failure characterised by a gradual change in the values of one or more specified parameters of the object.

Strict adherence to the criteria considered during the examination allows for increased objectivity of the inspection results and, consequently, the reliability of the damage analysis

The condition of gear transmissions during operation can be represented schematically (Fig. 1).

Serviceable condition – the condition of a GT in which it meets all the requirements established by regulatory, technical and design documentation.

Operational condition – the condition of a GT in which the values of all parameters characterising its ability to perform specified functions meet the requirements

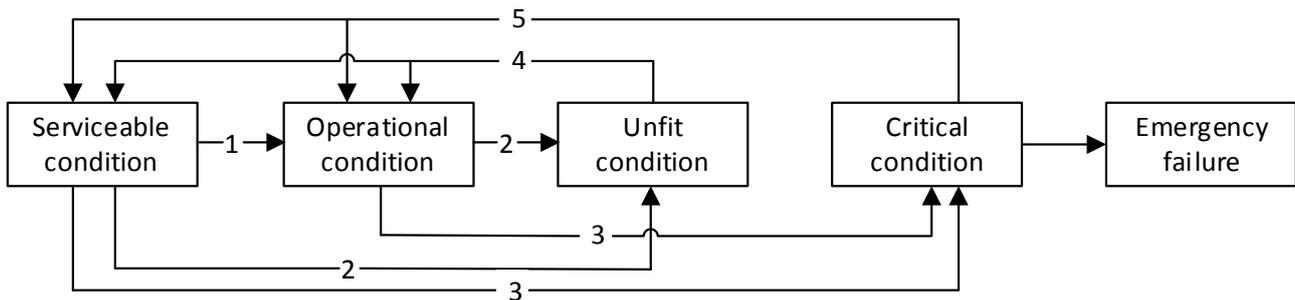


Fig. 1. Diagram of the main conditions of a GT during operation

Unfit condition – a condition of a GT in which the value of at least one parameter characterising its ability to perform specified functions does not meet the requirements of regulatory, technical and design documentation.

Critical condition – the condition of a GT in which its further use for its intended purpose is unacceptable or impractical, since restoring it to a serviceable or operational condition is impossible or impractical. Each of the conditions considered is distinguished by the presence of defects.

A defect is a specific non-compliance of a GT with the established requirements.

The transition of a GT from one state to another is related to both its operation and maintenance and repair. Each index on the diagram has a positive or negative effect on the GT in question:

1. Damage – an event consisting in the violation of the serviceable condition of the GT while maintaining its operational condition.

2. Failure is an event that consists in the disruption of the working condition of a GT. The failure criterion is established in the regulatory, technical and design

documentation. Failures caused by violations of operating rules and regulations are not taken into account when assessing the reliability of a GT.

3. Transition of the GT to a critical condition caused by the following factors: insurmountable safety violations; reduced operational efficiency, obsolescence, and other factors.

4. Restoration is an event that involves carrying out restoration work on a GT in situations specified in regulatory, technical and design documentation.

5. Repair is an event that consists of the fact that, for GT, in accordance with technical documentation, a plan of measures for maintenance and repair is provided, which may change over time.

Thus, analysis of the basic terms and concepts that determine the reliability of GT generally provides only a qualitative assessment of the parameter under consideration and, therefore, can only be taken into account in a probabilistic setting.

[1] Bobrytskyi S. Analiz poszkodzen obladnannia tiahovoho rukhomoho skladu. / S. Bobrytskyi, A. Sumtsov, O. Anatskyi, I. Hryshyna, Ye. Babenko. // Prykladni naukovo-tekhichni doslidzhennia : materialy VI mizhnar. nauk.-prak. konf., 14-16 trav. 2024 r. – Akademiia tekhnichnykh nauk Ukrainy. – Ivano-Frankivsk : Vydavets Kushnir H. M. – 2024. – 292 s.

[2] DSTU ISO 6336-1:2005 Rozrakhunok navantazhuvalnoi zdatnosti tsylindrychnykh priamozubykh i kosozubykh peredach. Chynnyi vid 2006-10-01. Vyd. ofits. Kyiv : Derzhspozhyvstandart, 2007. 16 s.

[3] DSTU 2860-94 Nadiinist tekhniky. Terminy ta vyznachennia. Chynnyi vid 1996-01-01. Vyd. ofits. Kyiv : UkrNDNTs, 1997. 75 s.

**УДК 629.423.3**

**РОЗРОБЛЕННЯ ІМПОРТОЗАМІННИХ КОМПОНЕНТІВ ДЛЯ  
ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ  
ТЕПЛОВОЗІВ ТЕ33**

**DEVELOPMENT OF IMPORT-REPLACEMENT COMPONENTS TO  
INCREASE THE RELIABILITY OF FUEL SYSTEM ELEMENTS OF TE33  
DIESEL LOCOMOTIVES**

*Докт. техн. наук В.Г. Пузир, докт. техн. наук Ю.М. Дацун  
канд. техн. наук О.М. Обозний*

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

*D.Sc. (Tech) V.G. Puzyr, D.Sc. (Tech) Yu.M. Datsun  
PhD (Tech.) O.M. Obozny*

*Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Локомотиви серії ТЕ33 застосовуються на залізницях України вже досить тривалий час, на протязі якого у локомотивному господарстві мали змогу набути певного досвіду з їх експлуатації та обслуговування. Самі локомотиви, будучи продовженням відомої серії GE Evolution ES44Сі [1] несуть у собі ряд технічних рішень, не притаманних вітчизняному локомотивобудуванню і це

спонукає до пошуку ремонтних технологій, які б надавали змогу підтримувати високий рівень надійності цих тепловозів.

Одним з таких кроків стала організація сервісного центру саме по цих локомотивах на базі одного з ремонтних депо УЗ. Концентрація у одному місці необхідних для якісного проведення сервісу обладнання, матеріалів, запасних частин дає змогу виконати технологічні операції найбільш якісно. Неостаннім, а можливо навіть найважливішим є набуття та підтримання високої кваліфікації персоналом, що їх здійснює. Його підготовка опирається на навчальні посібники фірми GE.

Однак у процесі проведення сервісу уже зараз доводиться стикатися із необхідністю заміни деяких вузлів тепловоза, що вийшли з ладу, але їх не передбачено у сервісному комплекті запчастин. Це можуть бути і механічні елементи типу кріплення у різьбових з'єднаннях (різьби та розмірності дюймові, а не метричні), і допоміжні електричні машини, що не мають вітчизняних аналогів, а також електронне обладнання.

Зокрема досить часто виходить з ладу вузол паливного насоса низького тиску. На відміну від вітчизняних конструкцій він виконаний на базі асинхронного двигуна. Для його живлення від акумуляторної батареї або бортової мережі постійного струму застосовано спеціалізований перетворювач. Конструктивно вони об'єднані у один агрегат (фото 1) у якому змащування підшипників ротора та охолодження статорної обмотки двигуна та електронних компонентів перетворювача здійснюється за рахунок циркуляції палива.

Найчастішими пошкодженнями цього агрегату є вихід з ладу перетворювача (понад 90 %) або статорної обмотки двигуна (фото 2). Характер руйнування у перетворювачі – пробій ізоляції між силовими струмоведучими шинами (фото 3), а це близько 50 відсотків випадків – спричинений, на наш погляд, невдалим розміщенням струмоведучих шин протилежної полярності у одному каналі з укладанням між ними всього лише тонкого шару ізоляційного матеріалу.



Фото 1 Паливний насос із Перетворювачем



Фото 2 Пошкоджена обмотка статора



Фото 3 Характерний пробій до КЗ струмоведучої шини

Для заміни перетворювачів, що вийшли з ладу було розроблено та виготовлено дослідний зразок перетворювача інверторного типу у форм-факторі існуючого корпусу (фото 4), проведено його стендові випробування з оцінкою теплового стану компонентів (фото 5), а зкомплектований насосний агрегат встановлено на тепловозі у вересні поточного року, який з того часу перебуває у експлуатації.

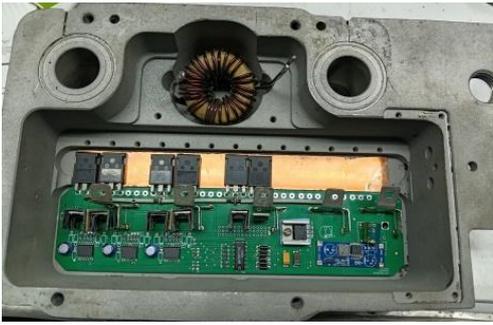


Фото 4 Загальний вигляд перетворювача на заміну штатного

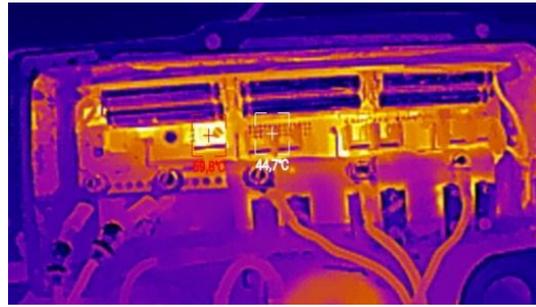


Фото 5 Тепловий стан елементів перетворювача під час стендових випробувань

Заплановано обстеження стану електронних компонентів перетворювача під час знаходження тепловоза на сервісних операціях чергового циклу.

[1] ES44ACi specifications at a glance. URL: <https://www.wabteccorp.com/locomotive/heavy-haul-locomotives/es44aci-locomotive> (дата звернення: 01.11.2025).

УДК 629.4

## ВИЗНАЧЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ МОТОРНОГО ВАГОНУ ЕЛЕКТРОПОЇЗДА

## DETERMINATION OF THE POWER OF THE TRACTION ELECTRIC DRIVE OF AN ELECTRIC TRAIN MOTOR CAR

*канд. техн. наук Л.В.Овер'янова, К.І. Іванов*  
*Національний технічний університет*  
*«Харківський політехнічний інститут», (м. Харків)*

*L. Overianova, PhD (Tech.), K. Ivanov*  
*National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», (Kharkiv)*

Приміські залізничні перевезення є зручним способом забезпечення мобільності населення у межах міських агломерацій та приміських територій [1]. Їх стабільне функціонування потребує оновлення рухомого складу. Це має забезпечити високі тягово-енергетичні показники рухомого складу, низький вплив на навколишнє середовище, комфорт для пасажирів тощо.

Для приміських пасажирських перевезень на електрифікованих ділянках залізниць використовується моторвагонний електрорухомий склад, який формується з моторних та причіпних (немоторних) вагонів. Наявні електропоїзди з тяговим колекторним електроприводом сформовані із секцій у складі одного моторного та одного немоторного вагону. Це є наслідком того, що колекторні електродвигуни мають низькі питомі показники моменту та

потужності, внаслідок чого необхідно збільшувати їх кількість, щоб забезпечити необхідні технічні параметри електропоїзда [2].

При використанні тягового електроприводу на основі електродвигунів змінного струму (асинхронних, синхронних і т.д.), які мають вищі питомі показники моменту та потужності, можливо формування електропоїздів з різною кількістю моторних та немоторних вагонів.

Для визначення впливу складеності електропоїзду на тяговий електропривод виконано розрахунки потужності тягового електроприводу одного моторного вагону при різній складеності составу. При розрахунках приймалося, що необхідно забезпечити середнє прискорення при розгоні до швидкості 60 км/год не нижче ніж  $0,7 \text{ м/с}^2$  [3]. Це відповідає розгону до швидкості 60 км/год протягом 23,8 с. Розрахунки виконувалися як задача по визначенню тривалості розгону при зміні дотичної потужності моторних вагонів з використанням положень теорії тяги поїздів [4]. Попередні розрахунки показали, що сила тяги при рушанні має бути якомога вищою, тому в розрахунках прийнято, що сила тяги при рушанні становить 200 кН. На рис.1 показано залежність дотичної потужності одного моторного вагону при різній складеності составу.

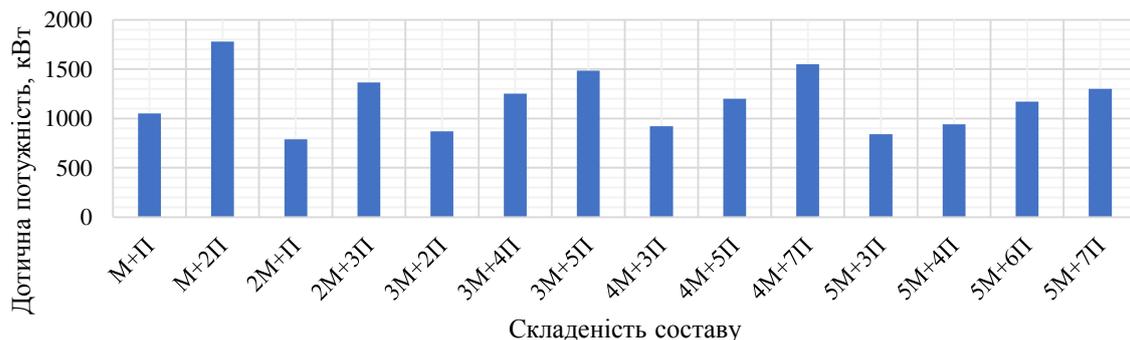


Рис. 1. Потужність моторного вагону  
М – моторний вагон, П – причіпний (немоторний)

З рис.1 слідує, що для варіантів складеності електропоїзда, в яких кількість моторних вагонів більша за кількість причіпних вагонів, потужність тягового електроприводу одного моторного вагону не перевищує 800...1000 кВт. Для варіантів складеності електропоїзда, в яких кількість моторних вагонів менша за кількість причіпних, потужність тягового електроприводу одного моторного вагону складає 1300...1500 кВт. Вбачається, що використання меншої кількості моторних вагонів сприятиме зменшенню витрат на технічне обслуговування тягового електроприводу, а також потребуватиме менших капітальних витрат для його придбання. Більша величина потужності одного моторного вагону дає можливість змінювати складеність составу, тим самим адаптуючи складеність електропоїзду під умови експлуатації. Таким чином, потужність тягового електроприводу одного моторного вагону має становити близько 1500 кВт, при цьому тяговий електропривод має забезпечувати силу тяги при рушанні, яка рівна 200 кН.

- [1] Чигрінов, В. Ретроспективний аналіз показників приміських пасажирських перевезень регіональної філії АТ «Укрзалізниця». *Сталий розвиток економіки*, 2024. №3(50), С.458-467. <https://doi.org/10.32782/2308-1988/2024-50-69>
- [2] Neshcheret, V., Ivanov, K., Overianova, L., Goolak, S., Riabov, Ie. Method of Defining Parameters of Traction Characteristics for Suburban Multi-unit Trains. *Transport Means - Proceedings of the International Conference*, 2023, 1, pp. 487–492.
- [3] Забарилло Д. О. Підвищення ефективності електрорухомого складу подвійного живлення з асинхронним тяговим приводом : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.09. Дніпропетровськ, 2015. 170 с.
- [4] Слащов, В. А. Тягові та гальмові розрахунки на рейковому транспорті: навч. посібник для вузів / В.А.Слащов. – Луганськ : СНУ ім. В.Даля, 2005. – 232 с.

**УДК 656.2.078.5:658.5.012.2**

## **ADAPTATION OF THE ROLLING STOCK TECHNICAL MAINTENANCE SYSTEM TO OPERATING CONDITIONS BASED ON RISK ASSESSMENT**

### **АДАПТАЦІЯ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ РУХОМОГО СКЛАДУ ДО УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НА БАЗІ ОЦІНКИ РИЗИКІВ**

*PhD (Tech.) Sumtsov A., Ponomarenko O.  
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

*канд. техн. наук Сумцов А.Л., Пономаренко О.В.  
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

The operating conditions of railway rolling stock require the implementation of reliable, cost-effective, and risk-oriented maintenance systems (MS). Traditional time- or schedule-based maintenance approaches do not adequately account for the variability of operating conditions and the actual technical condition of components, which often leads to premature or, conversely, delayed repairs. Under these circumstances, the transition to adaptive maintenance systems capable of utilizing predictive models and big data analytics becomes increasingly relevant [1]. An important foundation for such an approach is provided by international standards on risk management and RAMS, which define general requirements for the reliability and safety of railway systems, namely EN 50126-1:2017 and ISO 31000:2018.

Risk-oriented management makes it possible to assess the probability of failures and the severity of their consequences [2], which is particularly important for complex technical systems with long life cycles, such as railway rolling stock. At the same time, the development of digital technologies and intelligent diagnostic tools creates favorable conditions for the formation of adaptive maintenance systems that integrate condition monitoring, forecasting, and risk assessment.

During the operation of rolling stock, a wide range of technical risks arise, associated with wear, failures, and degradation of mechanical, electrical, and electronic systems. Typical risks include failures of bearing assemblies, degradation

of insulation in traction electric motors, overheating of axle-box bearings, malfunctions in electronic control systems, and defects in braking equipment. Sustained loads on complex systems over time increase the likelihood of critical failures, the consequences of which may be significant both for operational safety and economic efficiency.

Organizational and technological risks encompass personnel errors, deviations from prescribed maintenance procedures and violations of load regimes, inadequate assessment of technical condition, and a low level of integration of monitoring systems [3, 4]. The combination of these risks determines the need for a systematic approach to their analysis, as prescribed by the RAMS methodology in EN 50126-1:2017. The increasing complexity of electronic and digital systems in rolling stock gives rise to a new group of risks related to failures of sensors, control modules, and digital communication channels, which emphasizes the importance of reliable diagnostic and prognostic tools [2].

Methods for incorporating operational risks are based on the integration of risk-oriented analysis with modern diagnostic and prognostic technologies. Risk-Based Maintenance approaches enable the evaluation of risks according to the probability of failure and the severity of their consequences, which is consistent with the general principles of risk management defined in ISO 31000:2018 [1]. FMEA and FMECA methods are widely used to classify failures by criticality and to establish maintenance priorities, in accordance with international RAMS requirements specified in EN 50126-1:2017.

An essential component of an adaptive maintenance system is the use of telemetry, intelligent monitoring systems, and failure prediction algorithms. Predictive maintenance based on the analysis of large data sets enables the estimation of the remaining useful life of components and the early detection of anomalies [3]. The implementation of these methods makes it possible to establish a life-cycle-oriented maintenance framework that accounts for changes in technical condition over time, reduces operating costs, and increases the overall reliability of rolling stock [5].

An adaptive rolling stock maintenance system built on life-cycle risk assessment provides a new level of efficiency and operational safety in railway transport. The integration of risk-oriented analysis methods, digital diagnostics, and failure prediction makes it possible to minimize critical risks, thereby optimizing costs and ensuring a high level of technical availability of transport assets. This approach is consistent with current international trends in the development of reliability management systems and represents a promising direction for improving rolling stock operation under conditions of digital transformation of the industry.

[1] Пономаренко О. В. Формування моделі адаптивної системи технічного обслуговування спеціалізованих вагонів на базі оцінки ризиків / О. В. Пономаренко, А. Л. Сумцов // Міжнародна транспортна інфраструктура, індустріальні центри та корпоративна логістика: матеріали двадцять першої наук.-практ. міжнарод. конф. (5-6 червня 2025 р.). - Харків: УкрДУЗТ, 2025. - С. 69-70.

[2] Aven, T. (2016). \*Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation\*. European Journal of Operational Research, 253(1), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.12.023>

[3] Jardine, A. K. S., Lin, D., & Banjevic, D. (2006). \*A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance\*. Mechanical Systems and Signal Processing, 20(7), 1483–1510. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2005.09.012>

[4] Rui Zhao, Ruqiang Yan, Zhenghua Chen, Kezhi Mao, Peng Wang, Robert X. Gao, (2019) Deep learning and its applications to machine health monitoring, Mechanical Systems and Signal Processing, Volume 115, Pages 213-237. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2018.05.050>.

[5] Ponomarenko, O. V. (2017). THE PROSPECTS FOR IMPROVING THE TECHNICAL STATE OF ROLLING STOCK ON THE RAILWAYS OF UKRAINE. Science and Transport Progress, (1(67), 88–95. <https://doi.org/10.15802/stp2017/93162>

**УДК 629.4**

## **ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ МОТОР-РЕДУКТОРНОГО БЛОКУ МОНОМОТОРНОГО ВІЗКА ДЛЯ ПРОМИСЛОВОГО МАНЕВРОВОГО ЛОКОМОТИВУ**

## **EVALUATION OF THE PARAMETERS OF THE MOTOR-GEARBOX UNIT OF A SINGLE-MOTOR BOGIE FOR AN INDUSTRIAL SHUNTING LOCOMOTIVE**

*канд. техн. наук Є.С.Рябов<sup>1</sup>, А.Є.Прокопов<sup>1,2</sup>*

*<sup>1</sup>Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут», (м. Харків)*

*<sup>2</sup>ТОВ «МТРЗ», (м. Миколаїв)*

*Ie.Riabov, PhD (Tech.)<sup>1</sup>, A.Prokopov<sup>1,2</sup>*

*<sup>1</sup>National Technical University  
«Kharkiv Polytechnic Institute», (Kharkiv)*

*<sup>2</sup>LLP «MLRP», (Mykolaiv)*

У контексті зростаючих вимог до енергоефективності, надійності та економічності тягового рухомого складу важливим напрямом технічного розвитку є удосконалення характеристик локомотивів, які мають якомога точніше відповідати умовам експлуатації.

Як показано у [1], перспективним для застосування на промислових маневрових локомотивах є груповий привід колісних пар, один з варіантів якого може бути створений з використанням мономоторних візків. У [2] визначені технічні вимоги до тепловозів промислового транспорту. Зокрема вказано, що сила тяги тривалого режиму має становити 235...250 кН, сила тяги при рушанні з місця – 275...352 кН. З урахуванням того, що осьове навантаження не може перевищувати 25 т, сила тяги при рушанні з місця для чотиривісного локомотиву може бути прийнята 300 кН. Також у [2] визначається, що при експлуатації промислового локомотиву його максимальна швидкість має складати 55 км/год, а транспортна швидкість – 80 км/год. На основі цих даних проведено розрахунки величини моменту тягового електродвигуна і його частоти обертання при різному передатному відношенні тягового редуктора мономоторного візка (рис.1).

Аналіз залежностей на рис.1 показує, що момент електродвигуна може змінюватися у діапазоні 20,7...7,3 кНм, а частота обертання – 1615...4600 об/хв. При чому меншим значенням моменту відповідає вища частота обертання. При такому співвідношенні величини моменту та частоти обертання доцільним є використання електродвигунів змінного струму, які мають високі питомі показники моменту та потужності. Це обумовлює їх компактність, що сприяє компонуванню мотор-редукторного блоку та його розміщенню на візку.

Аналіз параметрів тягових редукторів сучасних локомотивів показує, що при діаметрі ведучого колеса 1,05 м передатне відношення одноступінчастих редукторів не може перевищувати 6,0 внаслідок габаритних обмежень. При необхідності збільшити передатне відношення тягового редуктора його виконують двоступінчастим. При цьому момент на валу електродвигуна зменшується, що обумовлює менші розміри електродвигуна. Тому використання двоступінчастого редуктора у моноmotorних візках є пріоритетним. Для визначення передатного відношення тягового редуктора необхідно проведення оптимізаційних розрахунків з урахуванням обмежень, які обумовлюються габаритними розмірами та доступним простором для розміщення мотор-редукторного блоку.

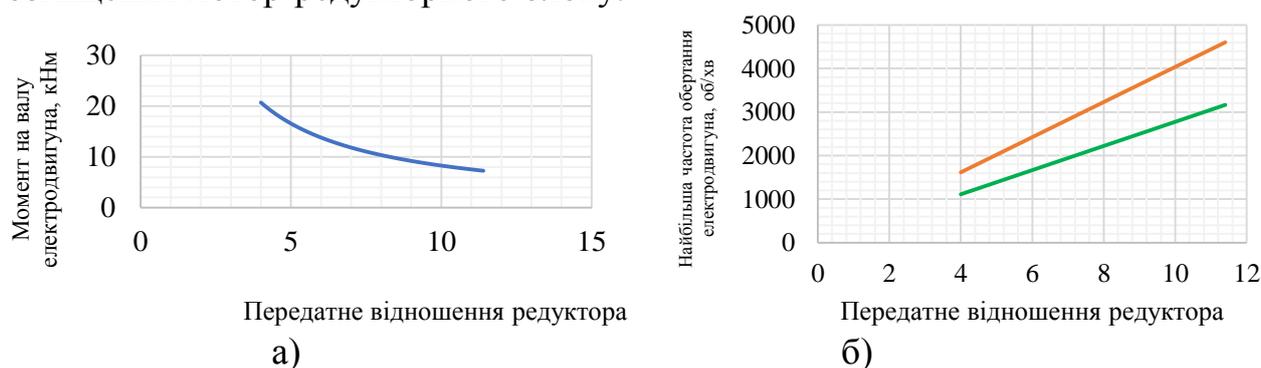


Рис.1. Залежність моменту електродвигуна від передатного відношення при силі тяги локомотива 300 кН (а) та залежність найбільшої частоти обертання від передатного відношення редуктора (б) (зелена лінія – для швидкості 55 км/год, помаранчева лінія – для швидкості 80 км/год)

У [3] визначено, що при виконанні маневрових операцій на промислових підприємствах тепловоз працює з дотичною потужністю, яка не перевищує 150 кВт. При виконанні вивізної роботи тепловоз працює з дотичною потужністю не вище 420 кВт. Виходячи з цього, потужність тягового електродвигуна одного моноmotorного візка має становити близько 220 кВт.

Таким чином, мотор-редукторний блок двовісного моноmotorного візка має виконуватися з двоступінчастим редуктором з передатним відношенням більше 6,0. Потужність електродвигуна змінного струму становить 220 кВт, найбільша частота обертання – 4500 об/хв.

[1] Рой, С., Яготін, В., Прокопов, А., Рябов, С. Вибір приводу колісних пар локомотиву для промислового залізничного транспорту. *Вісник Приазовського Державного Технічного Університету. Серія: Технічні науки*, 2025 (50), 84–95. <https://doi.org/10.31498/2225-6733.50.2025.336271>

[2] Немілоствий В.О., Донченко А.В., Павленко Ю.С., Бойко В.О., Леонтев В.М. Дослідження та розробка технічних вимог до нового маневрового тепловоза потужністю 750-800 к.с. для експлуатації у залізничних

господарствах підприємств промисловості України. *Збірник наукових праць ДП "УкрНДІВ". Рейковий рухоми склад.* 2020, №8. С.17-24

[3] Є. С. Рябов, Д. І. Якунін, С. В. Рой, В.О. Яготін, А. В. Качан. Визначення параметрів plug-in гібридної тягової системи для промислового маневрового локомотиву. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування*, 2024, 2(18), С.63-68 <https://doi.org/10.20998/2078-774X.2024.02.08>

**УДК 629.114.2-192.001.18**

## **ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ МЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ВИПРОБУВАНЬ**

### **DETERMINATION OF RELIABILITY PARAMETERS OF MECHANICAL SYSTEM COMPONENTS BASED ON TESTING**

*Доктор техн. наук. Алфьоров О., аспірант Аракелян Т.А  
Український державний університет залізничного транспорту, (м. Харків)*

*D. Sc. (Tech) Alfyorov O., postgraduate Arakelian T  
Ukrainian State University of Railway Transport, ( Kharkiv)*

Прискорена оцінка механічної надійності елементів мобільних машин здійснюється шляхом проведення в стислі терміни та аналізу результатів стендових і експлуатаційних (іноді полігонних) випробувань. Особливості кожного з цих видів випробувань призводять до необхідності вирішення специфічних завдань статистичного аналізу даних при оцінці показників надійності. При стендових випробуваннях, які проводяться на етапах проектування і випуску дослідних зразків, характерний малий обсяг вибірок результатів випробувань оцінюваного об'єкта, що знижує точність отриманих статистичних висновків. Крім того, до завдань аналізу результатів прискорених стендових випробувань, проведених в посиленних (форсованих) режимах, входить і оцінка показників надійності, очікуваних при роботі об'єкта в нормальних експлуатаційних режимах використання. При прискореній оцінці за результатами скорочених експлуатаційних випробувань виникають проблеми статистичного аналізу неповних (випадково цензурованих) вибірок даних [1, 2]. Зазначені особливості інформації про надійність мобільних машин і завдань з її аналізу, що виникають при прискореній оцінці, вимагали додаткового вдосконалення існуючих методів [3].

Незважаючи на безумовну необхідність проведення прискорених стендових випробувань дослідних зразків, найбільш повну і достовірну інформацію про характеристики надійності серійно випускається техніки можна отримати на основі збору та аналізу експлуатаційних даних. Прискорення оцінки тут досягається за рахунок скорочення термінів проведення випробувань або спостережень, наприклад, до одного або двох сезонів робіт, за умови використання для оцінювання показників надійності спеціальних методів статистичного аналізу та прогнозування.

Зазвичай результати скорочених експлуатаційних випробувань у статистичному сенсі являють собою так звані неповні вибірки [3], причому в більшості випадків їх можна віднести до вибірок, випадково цензурованих справа. Стосовно таких вибірок найбільш підходящим методом аналізу видається множинний метод [3] непараметричного оцінювання.

Групуючи всю випадково цензуровану справа вибірку напрацювань до відмов і до призупинень за інтервалами, отримаємо, що в будь-якій  $i$ -ий інтервал потрапить деяка кількість  $n_{oi}$  напрацювання до відмови і  $n_{pi}$  напрацювання до призупинення випробувань. Загальну кількість об'єктів, що випробовувалися, позначимо  $M$ .

Тоді, для будь-якого  $i$ -го інтервалу групування випадково цензурованої справа вибірки емпірична ймовірність безвідмовної роботи  $R_i$  (при  $R_0 \equiv 1$ ) може бути визначена як добуток

$$R_i = \prod_{j=1}^i \left( 1 - \frac{n_{oj}}{M_j} \right), \quad (1)$$

де

$$M_j = M - \sum_{\kappa=1}^{j-1} (n_{ок} + n_{пк}) - \theta_j n_{пj}; \quad (2)$$

$\theta_j$  - параметри, що визначають частку врахованих напрацювань до призупинення в кожному інтервалі.

При прискореній оцінці характеристик надійності за результатами стендових випробувань для забезпечення достовірності статистичних висновків доцільно об'єднати дані про випробування дослідних зразків з результатами випробувань конструктивно подібних аналогів. Практична реалізація такого підходу, виконана для прискорених втомних випробувань корпусів ведучих мостів, підтвердила його ефективність.

З огляду на те, що найчастіше в результаті скорочених експлуатаційних випробувань або спостережень отримані дані можна в статистичному відношенні кваліфікувати як випадково цензуровані вибірки, для їх аналізу слід використовувати найбільш ефективні сучасні методи. До них може бути віднесений модифікований для згрупованих за інтервалами даних множинний метод, викладений у статті.

Як при стендових, так і при експлуатаційних випробуваннях перспективним напрямком компенсації недостатності обсягу статистичної інформації є використання методів статистичного непараметричного (бутстреп) моделювання з побудовою інтервальних довірчих оцінок.

[1] Гринченко А. С., Алферов А. И. Ресурсные испытания и оценка долговечности крыльчатки вакуумного насоса доильного агрегата// Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні: Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. – Харків: 2007. - Вип.61. - С.81-86.

[2] Кухтов В.Г., Гринченко О.С., Фесун А.А. и др. Конструктивные особенности и факторы, определяющие надежность карданных передач сельскохозяйственных машин // Ресурсосберегающие технологии, материалы и оборудование в ремонтном производстве. – Харьков: ХНТУСХ имени Петра Василенко – 2011. Вып. 110 –С.29-35.

УДК 629.4

## РОЗРОБЛЕННЯ ПРОПОЗИЦІЙ З УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РЕМОНТУ ДИЗЕЛІВ ТЕПЛОВОЗІВ

### DEVELOPMENT OF PROPOSALS FOR IMPROVING THE REPAIR TECHNOLOGY OF LOCOMOTIVE DIESEL ENGINES

*канд. техн. наук А.Л. Сумцов, магістрант А.В. Насіблі,  
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

*PhD (Tech) A.L. Sumtsov, master student A.V. Nasibli  
Ukrainian state university of railway transport (Kharkiv)*

Дизель є основним силовим агрегатом тепловоза, а його технічний стан безпосередньо визначає надійність, економічність та екологічність локомотивної тяги. Високі теплові й механічні навантаження, зношення паливної апаратури, колінчатого вала, поршневої групи та системи газообміну створюють потребу у вдосконаленні технології ремонту дизелів. Аналіз методик показує, що низка операцій виконується за традиційними технологіями, які не забезпечують достатньої точності діагностики та прогнозування ресурсу [1-3].

Однією з ключових проблем є недостатня автоматизація процесу дефектації. Часто оцінювання стану циліндро-поршневої групи та шатунно-кривошипного механізму базується на вибірковому контролі, що може призвести до невиявлення прихованих дефектів. Паливна апаратура діагностується переважно на стендах старого типу, які не дозволяють отримувати точні характеристики в умовах, наближених до реальної роботи дизеля.

Для удосконалення технології ремонту запропоновано впровадити комплекс цифрових методів діагностики. Зокрема, рекомендовано застосування ендоскопії для контролю камери згоряння та стану клапанів, віброакустичного аналізу для визначення ранніх ознак зношення підшипників та поршневих пар, а також тепловізійного моніторингу для виявлення нерівномірних температурних режимів. Використання високоточних 3D-сканерів дає змогу відновлювати геометрію блоків і головок циліндрів із мінімальними похибками.

У сфері ремонту паливної апаратури доцільно застосовувати електронні стенди з можливістю моделювання різних навантажувальних режимів. Це дозволить підвищити точність регулювання форсунок і паливних насосів, а також знизити витрати пального під час подальшої експлуатації. Запропоновано використовувати сучасні зносостійкі матеріали для відновлення поверхонь тертя та плазмове напилення для підвищення ресурсу деталей.

Важливою складовою є цифровізація ремонтного процесу: створення електронної історії роботи дизеля, накопичення параметрів діагностики та застосування алгоритмів прогнозування на основі статистичних моделей. Це забезпечує перехід до технічного обслуговування за фактичним станом та дозволяє зменшити кількість позапланових відмов.

Упровадження запропонованих удосконалень сприятиме підвищенню ресурсу дизелів тепловозів, зниженню експлуатаційних витрат та підвищенню ефективності ремонтних підрозділів.

[1] Гайдич В. І., Шевченко В. В., Балака Є. В. Діагностика та технічне обслуговування дизелів тепловозів. – Дніпро: ДНУЗТ, 2018, 256 с.

[2] Baranovskyi D., Bulakh M., Michajłyszyn A., Myamlin S., Muradian L. (2023). Determination of the Risk of Failures of Locomotive Diesel Engines in Maintenance. *Energies*, 16(13), 4995.

[3] Дацун Ю. М. Технологія ремонту тягового рухомого складу. – Київ: КЕМТ, 2020, 389 с.

**УДК 311.214:629.424.1**

## **ВИКОРИСТАННЯ ЕКСПОНЕНТНОЇ СЕРЕДНЬОЇ ДЛЯ ЕКСТРАПОЛЯЦІЇ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ЛОКОМОТИВІВ**

### **USE OF EXPONENTIAL AVERAGE FOR EXTRAPOLATION OF LOCOMOTIVE RELIABILITY INDICATORS**

***В.І. Коваленко, О.В. Клименко***

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

***V. Kovalenko, O. Klymenko***

*Ukrainian State University of Railway Transport, (Kharkiv)*

Прогнозування технічного стану локомотивів спирається на вивчення тенденцій, що спостерігаються у змінненні їх поточного стану. Під час експлуатації локомотивів цей стан визначається сукупністю значень показників надійності. Таким чином, прогнозування залишкового ресурсу локомотивів можливо за допомогою прогнозування значень відповідних показників їх надійності.

Вирішення поставленої задачі доцільно здійснювати за допомогою індивідуальних методів прогнозування надійності локомотивів.

Прогнозування виконувалося на базі математичного апарату екстраполяції процесів [1,2], які описують закономірності змінення показників надійності локомотивів в процесі експлуатації.

У якості показника надійності тепловозів було розглянуто потік відмов тепловозів по локомотивному депо Основа регіональної філії "Південна залізниця" ПАТ "Укрзалізниця" помісячно за період 5 років.

При проведенні процедури визначення тренду часового ряду потоку відмов локомотивів проаналізовано динаміку його змінення, що дає можливість

зробити припущення про відсутність у розвитку лінійної тенденції, та присутність у динаміці показника надійності тренду близького до експонентного. Однак, можна припустити, що наявність тренду близького до експонентного за певний досліджуваний період може непрямо пояснюватися станом галузі в цілому (скороченням та старінням експлуатованого парку локомотивів та ін.) і тому може не носити стійкого характеру. Вищесказане складає передумови про недоцільність застосування методів простої екстраполяції для прогнозування показників надійності локомотивів. Тому слід звернути увагу на методи прогнозування, що спроможні при екстраполяції враховувати динаміку тенденції (стрибки у рівнях) прогнозованого показника. До найбільш поширених при аналізі нестационарних часових рядів можна віднести методи прогнозування на основі експонентної середньої часового ряду. Експонентна середня досить часто використовується для побудови різних прогнозних моделей, процесів, що мають варіативний характер, особливо при короткостроковому прогнозуванні. Це пояснюється рядом її позитивних властивостей, з яких необхідно визначити такі:

- дисперсія експонентної середньої залежить від обраного параметра згладжування  $\alpha$ , змінюючи який, можна у деякому розумінні керувати мінливістю експонентної середньої;

- при збільшенні  $\alpha$  значення експонентної середньої  $q_t$  будуть близькі до значень рівнів і добре реагуватимуть на зміни у рівнях [1,2].

Таким чином, параметр  $\alpha$  має властивості керуючого параметра.

Оцінка якості прогнозу здійснювалася візуально та на базі таких критеріїв як коефіцієнт розходження Тейла,  $V$ , і середньої абсолютної похибки апроксимації  $\bar{e}$  [1,2].

Аналізуючи прогнози за допомогою експонентної середньої, можна зробити висновок, що побудована модель досить гарно описує поведінку часового ряду при незначних змінах його тренду ( $V=0,105$ ,  $\bar{e}=0,715$ ), найбільші розбіжності ( $V=0,140$ ,  $\bar{e}=1,410$ ) мають місце коли ряд має спадаючий чи зростаючий тренд. У цих випадках прогнози стають або завищеними, або заниженими. Усі прогнози для моментів, більших за  $t+1$ , будуть постійні і дорівнюватимуть  $c_{t+1} = q_t$ . Цей факт є основним недоліком експонентної середньої, як прогнозної моделі часових рядів потоку відмов локомотивів.

1. Єріна, А.М. Статистичне моделювання та прогнозування. Київ: КНЕУ, 2001. 167 с.

2. Montgomery, Douglas C., and Runger, George C. (2018). Applied Statistics and Probability for Engineers. John Wiley & Sons, 7th Edition. URL: <http://surl.li/tuwnf>

**МЕТОДОЛОГІЯ ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ РОЗМІРІВ  
ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ НЕСУЧОГО ЕЛЕМЕНТУ РАМИ  
ОДИНИЦІ РУХОМОГО СКЛАДУ**

**METHODOLOGY FOR DETERMINING THE RATIONAL CROSS-  
SECTION DIMENSIONS OF A LOAD-BEARING FRAME ELEMENT  
OF A ROLLING-STOCK UNIT**

*канд. техн. наук М.В Павлюченко<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>*Харківський національний університет міського господарства  
імені О.М. Бекетова (м. Харків)*

<sup>2</sup>*Сумський національний аграрний університет (м. Суми)*

*M.V. Pavliuchenkov<sup>1,2</sup>, PhD (Tech.)*

<sup>1</sup>*O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv (Kharkiv)*

<sup>2</sup>*Sumy National Agrarian University (Sumy)*

На сьогоднішній день актуальною задачею є удосконалення конструкції одиниць рухомого складу залізниць, що включає в себе зменшення матеріалоемності несучих елементів при збереженні необхідної міцності конструкції [1, 2]. Для розв'язання вказаної задачі на першому етапі складається функція цілі та обмеження виходячи з конструктивних особливостей елемента і технологічних обмежень. На наступному етапі формуються початкові дані для виконання досліджень у вигляді заданих інтервалів варіювання керованих змінних, відбувається перехід до нормованих параметрів та складається математичний план з відповідною матрицею планування. Процедура передбачає розробку математичних моделей із застосуванням сучасних методик математичного проектування експерименту. Отримані математичні моделі застосовуються для розв'язання задачі по знаходженню функції цілі з урахуванням областей можливих і допустимих рішень. Для чисельної мінімізації функції маси  $f(x) = m$  з обмеженнями використовується, як приклад, симплекс-метод. Ідея методу полягає у порівнянні значень функції у вершинах симплексу та переміщенні точок симплексу у напрямку оптимальної точки за допомогою певної ітераційної процедури. По результатам розрахунків отримуються раціональні параметри перерізу елемента. Для графічного відображення результатів, будуються ізолінії для кожної з цих функцій та накладаються на одному графіку з однаковою сіткою, також наноситься область допустимих рішень та графічно вказується точка з раціональними параметрами.

[1] Lovska, A.; Gerlici, J.; Dižo, J.; Pavliuchenkov, M.; Rukavishnikov, P. Design Features of a Removable Module Intended for Securing Containers When Transported in an Open Wagon. Appl. Sci. 2025, 15, 6268.

[2] Павлюченков М.В. Рационалізація геометричних розмірів вертикальної стійки кузова вагона-хопера. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXXIII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2025, 14-17 травня 2025 р. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». – С. 335.

УДК 621.923.42

## **ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ МАШИН ПРИ ВРАХУВАННІ ДІЇ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ**

## **FEATURES OF DESIGNING MACHINE ELEMENTS WHEN TAKING INTO ACCOUNT THE EFFECT OF DYNAMIC LOADS**

*Аспірант О. Макар*

*Полтавський державний аграрний університет, (м. Полтава)*

*Postgraduate student Makar O.*

*Poltava State Agrarian University, (Poltava)*

Перший етап життєвого циклу сучасних машин та їх елементів в останній час стає все більш цифровізованим. Багато складних з точки зору розуміння механічних процесів отримали свої реалізації в віртуальному середовищі за допомогою багатьох сучасних пакетів об'ємного моделювання [1]. Процес проектування умовно можна розділити на декілька етапів, виконання яких призведе в сукупності до результатів наближених до матеріальної реалізації з високою долею достовірності. До згаданих етапів слід віднести етап створення просторової моделі елемента машини, задання його фізико-механічних властивостей, створення системи граничних умов і розбиття моделі на кінцеві елементи. Поєднання таких дій на етапі проектування елементів машин дозволяє зробити розрахунки за багатьох параметрів, зокрема і отримати міцнісні характеристики. Створення достовірної моделі в тривимірному віртуальному просторі вимагає глибоких знань та вмінь від конструктора, як правило кваліфікація якого зростає з досвідом. Такий алгоритм справедливий і для етапу розбиття на скінченні елементи, де досвідчений проектувальник може добиватися адекватності моделі локальними збільшеннями щільності кінцево-елементної сітки та іншими прийомами. Етап задання фізико-механічних властивостей матеріалів майбутньої розробки лімітується програмним продуктом та довідниковими даними. Задання ж граничних умов окрім досвіду та кваліфікації конструктора потребують ще ґрунтовного розуміння про фізику навантаження, що сприймає об'єкт в умовах експлуатації. У випадку, коли елемент машини працює в динамічних умовах навантаження, про величини яких мало що відомо, наприклад елементи ходової частини засобів транспорту або робочі органи сільськогосподарських машин з обробітку ґрунту, навантаження мають велике розсіювання і в більшості своєму не відповідають усередненим теоретичним даним про їх величини. В таких випадках слід проводити суттєву роботу з оцінки надійності подібних елементів машин в експлуатаційних умовах, і використовуючи обернену задачу визначати реальні

експлуатаційні характеристики навантажень на основі аналізу рівня надійності за раптовими та/або поступовими відмовами [2-3]. Саме оцінка роботи попередніх або схожих за принципами роботи констру-кціями дає найбільш достовірну картину навантажень, що сприйматиме об'єкт проектування.

[1]Ворошук В. Я. Solidworks у завданнях 3D моделювання та інжинірингу технічних систем : навч. посіб. / В. Я. Ворошук, Т. М. Вітенько. – Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2021. –164 с.

[2] Grynchenko O., Alfuyorov O. (2020) Mechanical Reliability. Prediction and Management Under Extreme Load Conditions. Springer Nature Switzerland AG,. 125 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-41564-8>

[3] Alfuyorov O, Grynchenko O, Ponomarenko V, Shchur T, Tomporowski A, Kruszelnicka W, Walichnowska P. (2022) Agricultural Equipment Design Optimization Based on the Inversion Method. Agriculture. 12(9):1410. <https://doi.org/10.3390/agriculture12091410>

**УДК 629.421:62-192**

## **ЗМЕНШЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ЗНОШЕННЯ ПАР ТЕРТЯ АКСІАЛЬНО-ПОРШНЕВИХ ГІДРОМАШИН В ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

### **REDUCING THE INTENSITY OF WEAR OF FRICTION PAIRS IN AXIAL- PISTON HYDRAULIC MACHINES IN OPERATION**

***В.І. Коваленко, М.В. Максимов***

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

***V. Kovalenko, M. Maksimov***

*Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Нагальною проблемою розвитку залізничного пасажирського руху в Україні є моральна застарілість та фізична зношеність парку пасажирського тягового (ТРС) і мотор-вагонного рухомого складу (МВРС) [1 - 3]. Тому питання оновлення ТРС та МВРС сучасними зразками вітчизняного та закордонного виробництва набувають на сьогодні особливого і невідкладного значення. Зокрема, на перехідному етапі глобального підвищення швидкості пасажирських поїздів в Україні, гостро постає питання істотної модернізації вітчизняних пасажирських локомотивів і дизель-поїздів III покоління, впровадження нових технологій в систему їх ремонту та обслуговування.

В умовах воєнного стану важлива роль у забезпеченні залізничних пасажирських перевезень, особливо у прифронтових регіонах, належить автономному МВРС та ТРС, а саме дизель-поїздам серії ДР1А та тепловозам серії ТЕП70, які активно експлуатуються у пасажирському русі на частково електрифікованих або неелектрифікованих ділянках залізниць України.

З усіх несправностей допоміжних систем тепловозів ТЕП 70 і дизель-поїздів ДР1А вагома частка належить виходу з ладу аксіально-поршневих гідромашин охолоджуючого пристрою дизеля, які чинять прямий вплив на надійність головних енергетичних установок ТРС, МВРС вказаних серій, а значить і на

функціональність дизель-поїздів та тепловозів в цілому. Тому виникає необхідність розроблення заходів щодо підвищення надійності роботи гідромашин в процесі експлуатації.

Проблемам підвищення безвідмовності та збільшення ресурсу гідромашин присвячено достатню кількість наукових робіт та публікацій. Наприклад, в роботі [4] підвищення безвідмовності гідромашин досягається застосуванням обробки робочої рідини зовнішнім електростатичним полем. Тому можна стверджувати, що задача підвищення надійності гідромашин аксіально-поршневого типу є доволі актуальною.

Аналіз статистичного матеріалу про відмови між поточними ремонтами

ПР-3 аксіально-поршневих гідромашин типу МН250/100 гідростатичного приводу вентиляторів охолоджуючого пристрою тепловозів ТЕП70 і дизель-поїздів ДР1А в умовах полігону експлуатації Південної залізниці свідчить про те, що найбільш ненадійними в роботі вузлами гідромашини є :

- з'єднання корпусу блока циліндрів та корпусу веденого (ведучого) валу;
- підшипники;
- шатунно – поршнева група (ШПГ) гідромашин;
- ущільнюючі сальники веденого (ведучого) валу.

Очевидно, що надійність гідромашин аксіально-поршневого типу в значній мірі залежить від стану та інтенсивності зносу важконавантажених пар тертя (елементів циліндро-поршневої групи, елементів шатунно-поршневої групи).

Перспективним напрямком зменшення тертя у важконавантажених парах тертя гідромашин є застосування методу епіламування робочих поверхонь деталей вузлів тертя.

Епіламування – спосіб остифікулоного оброблення поверхонь деталей, який полягає у використанні технології нанесення плівок епіламу, що представляють розчини складних поліефірів (перфторполиефірів) карбонових кислот у легколетючих хладачах на робочі поверхні деталей пар тертя.

Епіламування забезпечує:

-значне зменшення коефіцієнта тертя. За даними лабораторних експериментів проведених у дослідженнях [5,6] коефіцієнт тертя після епіламування випробовуваних елементів пар тертя зменшився у 2,5 рази;

- утримання мастильного матеріалу на поверхнях тертя відбувається за рахунок того, що при епіламуванні формується шар орієнтованих молекул радикально змінюючий енергетичні впливи, поверхні твердого тіла. Молекули ПАР (поверхнево-активної речовини), утворюють структури Ленгмюра у вигляді спіралей з нормально спрямованими осями до поверхні матеріалу оброблюваних деталей [5, 6].

Враховуючи зазначене, в умовах локомотиворемонтних підприємств, перспективним напрямком є впровадження технології обробки епіламами робочих поверхонь важконавантажених пар тертя гідромашин, поршнів, голівок шатунів, циліндрів, поверхонь пальців карданного вала, гумових ущільнень в холодний спосіб з витримкою деталей у ванні з епіламом марки 6СФК-180-05, що зменшить інтенсивність їх зношення в процесі експлуатації та трудомісткість ремонту.

- [1] Мирошник Р.О., Федак К.Я. Стратегічні напрями розвитку залізничного транспорту в Україні. Економіка та суспільство. 2021. Вип. 32. URL: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/817> (дата звернення: 30.11.25)
- [2] Бобир Д.В., Десяк А.Є., Козік Ю.Г. Перспективи розвитку високошвидкісного руху на залізницях України. *Локомотив-інформ*. 2017. Вип. 3. С. 129-130.
- [3] В Мінрозвитку провели публічну дискусію про майбутню стратегію розвитку залізничного транспорту. Міністерство розвитку громад та територій України. URL: <https://mindev.gov.ua/news/v-minrozvytku-provely-publichnu-diskusiiu-pro-maibutnoi-stratehii-rozvytku-vyrobnychykh-spromozhnosti-zaliznychnoho-transportu-ukrainy> (дата звернення: 30.11.25)
- [4] Лисіков Є.М., Онопрейчук Д.В. Швидкість зносу спряжень в гідроприводах технічних систем при обробці робочої рідини електростатичним полем. *Механіка і машинобудування*. 2010. № 1. С. 171-176.
- [5] Трошин О.М. Розробка технології епіламування силових елементів транспортних засобів. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2018. Вип. 192. С. 91-98.
- [6] Даниленко О. С. Збільшення післяремонтного ресурсу деталей пар тертя. *Сучасні матеріали та технології їх обробки* : зб. наук. пр. Міжнар. конф. здобувачів вищої освіти і молодих учених, м. Харків 23–24 квіт. 2024 р. / Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. Харків : ХНАДУ, 2024. С. 73–77.

**УДК 629.4**

## **ЗАСТОСУВАННЯ ГІБРИДНОЇ ДВОДИЗЕЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ НА МАНЕВРОВОМУ ТЕПЛОВОЗІ**

### **APPLICATION OF A HYBRID DUAL-DIESEL POWER PLANT ON A SHUNTING DIESEL LOCOMOTIVE**

*канд. техн. наук Є.С. Рябов, канд. техн. наук Б.Х. Овер'янова, Є.В. Лисенко*  
*Національний технічний університет*  
*«Харківський політехнічний інститут», (м. Харків)*

*Ye. Riabov, PhD (Tech.), B. Yeritsian PhD (Tech.), Ye. Lysenko*  
*National Technical University*  
*«Kharkiv Polytechnic Institute»( Kharkiv)*

Для удосконалення і розвитку вітчизняних залізничних перевезень необхідне оновлення рухомого складу з використанням нових технологій, які забезпечать високі тягово-енергетичні показники, надійність, дотримання сучасних екологічних вимог тощо. Важливою задачею є оновлення парку маневрових тепловозів, основу якого на магістральних залізницях складають тепловози ЧМЕЗ. Цей локомотив є застарілою моделлю, внаслідок чого виникають високі витрати на дизельне паливо, технічне обслуговування, ремонт тощо. Крім того, дослідження режимів роботи показують «надлишковість» потужності тепловозу для багатьох маневрових операцій [1]. Тому при оновленні парку маневрових тепловозів доцільно адаптувати їх характеристики до умов експлуатації.

Одним з напрямів, який дозволить забезпечити високу енергоефективність, є застосування дводизельної енергетичної установки. За даними [2], при виконанні маневрової роботи на станціях переважають режими роботи на позиціях контролера машиніста не вище 4. При роботі на гірці та

ділянках з ухилами робота тепловозу здійснюється на високих позиціях контролера машиніста – до 8 включно. Однак варто зауважити, що включення високих позицій контролера машиніста при русі на ухилах може бути пов'язане з необхідністю забезпечити високе тягове зусилля. Згідно технічної документації на тепловоз ЧМЕЗ на 4 позиції контролера машиніста потужність дизель-генератора при реостатних випробуваннях становить 310 кВт, потужність дизель-генератора на 8 позиції контролера машиніста становить 880 кВт. При такому співвідношенні величин потужностей можливо використання дизельних двигунів потужністю 350 ...400 кВт. У цьому випадку при виконанні маневрових операцій буде використовуватися один дизельний двигун, а при гірковій та вивізній роботі тепловоз буде працювати з двома працюючими дизельними двигунами.

Втім, аналіз експлуатаційних даних показує, що тривалість холостого ходу може досягати 60% загального часу роботи [2,3]. В таких режимах питома витрата пального значно зростає. Наприклад, за даними [4], для сучасного дизельного двигуна потужністю 590 кВт питома витрата пального у режимі при частоті обертання 600 об/хв з потужністю 20 кВт становить близько 0,84 кг/кВт·год, в той час як мінімальне значення питомої витрати становить близько 0,24 кг/кВт·год. Для зменшення споживання пального при холостому ході двигуна доцільно використання накопичувача енергії, який може заряджатися від дизель-генератора та при електродинамічному гальмуванні локомотиву. У випадку заряджання накопичувача від дизель-генератора еквівалента питома витрата пального, яка споживається для вироблення однієї кіловат-години енергії, відданої накопичувачем навантаженню, може бути оцінена на 20% вище питомої витрати пального у режимі заряджання накопичувача. Для наведених вище величини це дасть питому витрату пального близько 0,29 кг/кВт·год. Це практично утричі менше, ніж питома витрата пального дизельним двигуном. Виходячи з цього, живлення навантаження від накопичувача енергії доцільне в усіх режимах, для яких питома витрата пального дизельним двигуном перевищує певну величину (у прикладі – 0,29 кг/кВт·год). Тому можна прогнозувати, що при русі локомотива резервом живлення тягового електроприводу та допоміжних систем також буде доцільно здійснювати від накопичувача енергії. Це сприятиме зниженню шуму та шкідливих викидів. А при достатній ємності і потужності накопичувача енергії він може бути використаний як додаткове (третє) джерело енергії для живлення тягового електроприводу та допоміжних систем. З огляду на це, використання накопичувача енергії у складі дводизельної енергетичної установки для маневрового тепловозу є доцільним.

Таким чином, при оновленні маневрових локомотивів доцільним є використання дводизельних енергетичних установок з накопичувачем енергії. Це дозволяє зменшити споживання паливно-енергетичних ресурсів і, як наслідок цього, витрат на них, скоротити шкідливі викиди та зменшити шум.

[1] Сиротенко Ю. В. Визначення потужності маневрового тепловоза з урахуванням місця його експлуатації. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2014. № 1(8). С. 41-45.

- [2] Сиротенко Ю. В.. Удосконалення характеристик маневрових тепловозів з адаптацією до умов їх експлуатації: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07. Укр. держ. ун-т залізн. трансп. Харків, 2016. 178 с.  
Riabov, I., Overianova, L., Kondratieva, L., Plyutin, O., Overianov, A. Dual-mode powered locomotives for main routes. *Transport Systems and Technologies*, 2025. №45. <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2025-45-4>
- [3] Гатченко В.О. Підвищення ефективності використання маневрових тепловозів, що працюють за системою двох одиниць, шляхом вибору раціональних режимів їх роботи: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07. Укр. держ. акад. залізн. трансп. Харків, 2013. 147 с.
- [4] Rymaniak L., Daszkiewicz P., Merksiz J., Bolzhelarskyi Y.V. Method of determining the locomotive engine specific fuel consumption based on its operating conditions. *AIP Conference Proceedings*. 2019. №2078. 020053. <https://doi.org/10.1063/1.5092056>

**УДК 629**

## **УДОСКОНАЛЕННЯ ТЯГОВОГО ПРИВОДУ ЕЛЕКТРОВОЗІВ ЗА РАХУНОК РЕАЛІЗАЦІЇ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ ТЯГОВОЇ ЗУБЧАСТОЇ ПЕРЕДАЧІ**

### **IMPROVEMENT OF THE TRACTION DRIVE OF ELECTRIC LOCOMOTIVES BY IMPLEMENTING METHODS OF INCREASING THE LIFE OF THE TRACTION GEAR TRANSMISSION**

***М.В. Максимов***

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

***Maksimov M.V.***

*Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

У процесі експлуатації електровозів одним із ключових елементів, що визначає надійність та ефективність роботи тягового приводу, є тягові зубчасті передачі. Вони забезпечують трансмісію крутного моменту від тягового електродвигуна до колісної пари та працюють у складних умовах – при високих динамічних навантаженнях, змінних режимах руху, впливі вібрацій, ударів, циклічних перевантажень та забруднень. Тому підвищення ресурсу і надійності зубчастої передачі є одним із пріоритетних напрямів удосконалення тягового приводу сучасних електровозів.

Однією з основних проблем є зношування зубчастих коліс, що виникає внаслідок контактної втоми, абразивної дії частинок забруднень у мастилі, а також через мікропошкодження при перевантаженнях. Зношування призводить до зменшення коефіцієнта корисної дії, підвищення шуму, вібрацій, ймовірності відмов та збільшення витрат на ремонт. Тому комплексне застосування методів, що підвищують ресурс роботи зубчастої передачі, є критично важливим для забезпечення безпеки руху і зменшення експлуатаційних витрат.

Одним із напрямів удосконалення є оптимізація геометрії зубчастих коліс. Використання профілів із модифікованими вершинами та ніжками зубів, застосування корекції профілю, а також вдосконалені методи шевронного фрезерування дозволяють знизити концентрацію напружень і покращити

розподіл навантажень по довжині зуба. Це підвищує контактну витривалість та зменшує ймовірність зародження тріщин у зоні робочих поверхонь.

Важливу роль відіграє вибір матеріалів та термічна обробка. Сучасні методи поверхневого зміцнення – такі як цементація, азотування, борування, індукційна загартівка – забезпечують формування зносостійкого зовнішнього шару з високою твердістю та ударною в'язкістю ядра. Використання легованих сталей з оптимізованим хімічним складом підвищує довговічність та стійкість зубчастої передачі до втомного руйнування. Додаткові методи – криогенна обробка, дробострумне зміцнення – також сприяють підвищенню ресурсу.

Окреме значення має удосконалення мастильних систем. Впровадження систем примусового розбризкування або циркуляційного змащення дозволяє забезпечити стабільну подачу мастила в зону зачеплення, підтримувати оптимальну температуру роботи та зменшити абразивний знос. Застосування сучасних мастильних матеріалів з присадками проти зношування, екстремального тиску (EP-добавками) і модифікаторами тертя дає змогу істотно знизити втрати на тертя та продовжити термін служби зубчастих коліс.

Не менш важливим напрямом є підвищення точності виготовлення та контролю якості. Використання високоточних верстатів із ЧПК, контроль геометрії методом 3D-сканування, застосування неруйнівних методів оцінки дефектів (ультразвук, магнітопорошкові методи) дозволяють своєчасно виявляти відхилення та попереджати передчасний вихід передач з ладу.

Істотно впливає на ресурс і стан підвісу тягового електродвигуна, оскільки коливання корпусу двигуна і колісної пари передаються безпосередньо на зубчасте зачеплення. Удосконалення пружних елементів підвісу, застосування демпфуючих матеріалів і прецизійне центрування валів зменшують динамічні навантаження і підвищують стабільність роботи привода.

Крім того, сучасні стратегії технічного обслуговування передбачають використання систем діагностики стану зубчастих передач на основі віброаналізу, теплового моніторингу та спектрального аналізу мастила. Це дозволяє переходити від планових ремонтів до обслуговування за фактичним станом (CBM), що істотно продовжує ресурс та зменшує ризик аварійних відмов.

У комплексі реалізація перелічених технічних та організаційних рішень забезпечує зростання ресурсу тягової зубчастої передачі на 20–40 %, зниження витрат на технічне обслуговування та ремонт, підвищення енергоефективності електровозів і покращення умов їхньої експлуатації. Таким чином, удосконалення тягового привода за рахунок підвищення надійності та довговічності зубчастих передач є одним із ключових шляхів модернізації сучасного залізничного транспорту.

[1] Гетьман Г. К., Голік С. М. Тягові передачі електрорухомого складу. Дніпро: Акцепт ПП, 2020. 296 с.

[2] <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/4/1730>

[3] [https://www.extrica.com/article/19043?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.extrica.com/article/19043?utm_source=chatgpt.com)

**РОЗРОБЛЕННЯ ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО УДОСКОНАЛЕННЯ  
МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ БЕЗКОНТАКТНОГО ТЕПЛОВОГО КОНТРОЛЮ  
КОЛОДОЧНИХ ГАЛЬМ РУХОМОГО СКЛАДУ**

**DEVELOPMENT OF PROPOSALS FOR IMPROVING METHODS  
AND MEANS OF NON-CONTACT THERMAL CONTROL OF ROLLING  
STOCK SHOE BRAKES**

***О.В. Клименко***

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

***Klimenko O.V.***

*Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Ефективність та безпечність експлуатації залізничного рухомого складу значною мірою залежать від надійності роботи гальмівних систем. Особливу увагу у складі цих систем займають колодочні гальма, що працюють в умовах значних теплових та механічних навантажень. Під час гальмування на поверхні коліс і гальмівних колодок виникають локальні перегріву, які можуть спричинити термічні тріщини, зниження коефіцієнта тертя, прискорене зношування, а в окремих випадках – руйнування деталей. Для своєчасного виявлення небезпечних режимів роботи необхідне впровадження безконтактного теплового контролю, який забезпечує високу швидкість, точність і можливість моніторингу в реальному часі без втручання у конструкцію.

Нині на транспорті використовують переважно інфрачервоні (ІЧ) методи вимірювання температури, що ґрунтуються на аналізі теплового випромінювання поверхні об'єктів. Проте застосування таких засобів у складних умовах експлуатації рухомого складу стикається з низкою обмежень: впливом забруднення поверхонь, зміною коефіцієнта випромінювання, перешкодами від навколишнього середовища (пил, дощ, туман), високою швидкістю руху, вібраціями та несприятливими температурними умовами. Тому виникає потреба в удосконаленні як методів вимірювання, так і технічних засобів теплового контролю.

Одним із перспективних напрямів є використання високошвидкісних тепловізійних систем, здатних фіксувати температурні поля колісних пар у режимі реального часу. Застосування матричних мікроболометрів із підвищеною частотою кадрів і роздільною здатністю дозволяє отримати детальну картину розподілу температури та виявляти локальні перегріву й аномалії, що не фіксуються точковими ІЧ-пірометрами. Додаткове програмне згладжування та фільтрація сигналів покращують стійкість вимірювань до шумів.

Іншим важливим напрямом є впровадження адаптивної корекції коефіцієнта випромінювання. Оскільки поверхні колодок і коліс часто забруднені мастилом, пилом або іржею, реальний коефіцієнт емісії може суттєво відрізнятись від номінального. Використання системи подвійного спектрального аналізу або калібрування за еталонними зонами дозволяє автоматично коригувати емісійні параметри та підвищувати точність вимірювання.

Важливою складовою є удосконалення алгоритмів обробки даних. Використання методів машинного навчання, зокрема класифікації та детекції аномалій, може забезпечити автоматичне розпізнавання небезпечних температурних трендів та прогнозування відмов. Застосування нейронних мереж для виявлення патернів перегріву дозволяє формувати діагностичні висновки навіть у випадку неповних або шумових сигналів.

Удосконалення технічних засобів передбачає також захист вимірювальної апаратури від зовнішніх впливів. Зокрема, використання термостійких захисних кожухів із автоматичним очищенням оптичних поверхонь (повітряне продування або електростатичне відштовхування частинок) значно збільшує стабільність роботи датчиків. Монтаж тепловізорів на платформі з активною віброкомпенсацією також покращує точність контролю на високих швидкостях.

Важливою є і інтеграція безконтактного теплового контролю у загальні системи технічного діагностування рухомого складу. Дані теплових датчиків можуть передаватися до єдиної платформи моніторингу, де здійснюється обробка, архівація та формування рекомендацій щодо технічного стану гальмівної системи. Впровадження таких систем підтримує концепцію предиктивного технічного обслуговування та дозволяє знизити ризики аварійних ситуацій. Окремі перспективи відкриває застосування лазерно-оптичних методів контролю, зокрема спектральної термографії, що дозволяє проводити вимірювання температури з урахуванням оптичних характеристик поверхонь. Такі методи забезпечують високу селективність та точність навіть за наявності складних умов освітлення та забруднення.

У комплексі впровадження вищезазначених рішень дає змогу підвищити точність, швидкість та надійність безконтактного теплового контролю колodочних гальм. Це, у свою чергу, сприяє підвищенню безпеки руху, скороченню витрат на технічне обслуговування, збільшенню ресурсу гальмівних систем та зниженню ймовірності виникнення аварійних ситуацій, пов'язаних із перегрівом деталей у процесі гальмування.

[1] Sitarz M. Metody numeryczne w projektowaniu kol kolejowych zestawow kolowych : Monografia / M. Sitarz, A. Sladkowski, K. Chruzik. – Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Slaskiej NR 60, 2003. – 128 с.

[2] Tournay H. Use of Wayside Detection for Rolling Stock Performance Monitoring and Maintenance / H. Tournay // ІННА Specialist Technical Session (STS). – 2007. – С. 91-100.

[3] Thermal-mechanical modelling of the rolling-plus-sliding with frictional heating of a locomotive wheel / V. Gupta [та ін.] // Trans ASME J. Eng. Ind. – 1995. – № 3. – С. 418-422.

**ВИЯВЛЕННЯ ОЗНАК ПОШКОДЖЕНЬ ЕЛЕМЕНТІВ ПІДШИПНИКА  
КОЧЕННЯ БАГАТОТОЧКОВИМ ЕКСЦЕСОМ У ЧАСТОТНІЙ ОБЛАСТІ  
ВІБРАЦІЇ**

**DETECTION OF ROLLING BEARING ELEMENT FAULT FEATURES  
USING MULTIPOINT KURTOSIS IN THE VIBRATION FREQUENCY  
DOMAIN**

*аспірант К. С. Бондаренко, аспірант В. М. Косенко,  
канд. техн. наук С. В. Михалків*

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

*К. Bondarenko, postgraduate student, V. Kosenko, postgraduate student,  
S. Mykhalkiv, PhD (Tech.)*

*Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Першочерговим завданням для забезпечення надійності рухомого складу є впровадження своєчасного діагностування підшипників кочення буксових вузлів. Класичні методи вібродіагностування, такі як спектральний ексцес та швидка ексцесограма мають суттєвий недолік: традиційний ексцес чутливий до поодиноких випадкових імпульсів, які не пов'язані з пошкодженнями підшипника. Це може призводити до хибного вибору смуги демодуляції та пропуску реального пошкодження, особливо за наявності завад, характерних для стендових випробувань колісних пар.

Для подолання зазначеного недоліку запропоновано застосовувати метод багатоточкового ексцесу в частотній області вібрації, який спрямований на виявлення саме періодичних перехідних процесів, характерних для пошкоджень підшипників і який відфільтровує аперіодичні завади. Метод порівнює спектр обвідної вібрації із спеціально сформованим цільовим вектором, який імітує ідеальну послідовність імпульсів від пошкодження. На відміну від традиційного ексцесу, який оцінює "імпульсивність" розподілу, розглянутий метод оцінює схожість сигналу з очікуваною періодичністю пошкодження.

Визначення багатоточкового ексцесу в частотній області для вібраційного сигналу описується виразом

$$FDMK = \frac{(\sum_{n=1}^N t_n^2)^2}{\sum_{n=1}^N t_n^8} \cdot \frac{\sum_{n=1}^N (t_n S_n)^4}{(\sum_{n=1}^N S_n^2)^2} \quad (1)$$

де  $N$  — довжина спектра обвідної;

$S_n$  — амплітуда квадратичного спектра обвідної вібрації на  $n$ -й частоті, м/с<sup>2</sup>;

$t_n$  — компоненти цільового вектора в частотній області.

Упродовж експериментальних досліджень на стенді вісь колісної пари приводили в обертання з частотою  $f_r = 5,8$  Гц, розрахункова частота перекошування тіл кочення по пошкодженому зовнішньому кільцю становила  $FCF = 36,17$  Гц. На багатоточковій ексцесограмі (рис. 1 а) максимальне значення індексу  $M_{kurt\_max} = 67,13$  досягається на рівні декомпозиції 5.5. Це відповідає центральній частоті смуги пропускання  $f_c = 3593,75$  Гц із шириною смуги  $B_w = 479,17$  Гц. Високе значення індексу свідчить про наявність у цій смугі виражених періодичних компонент.

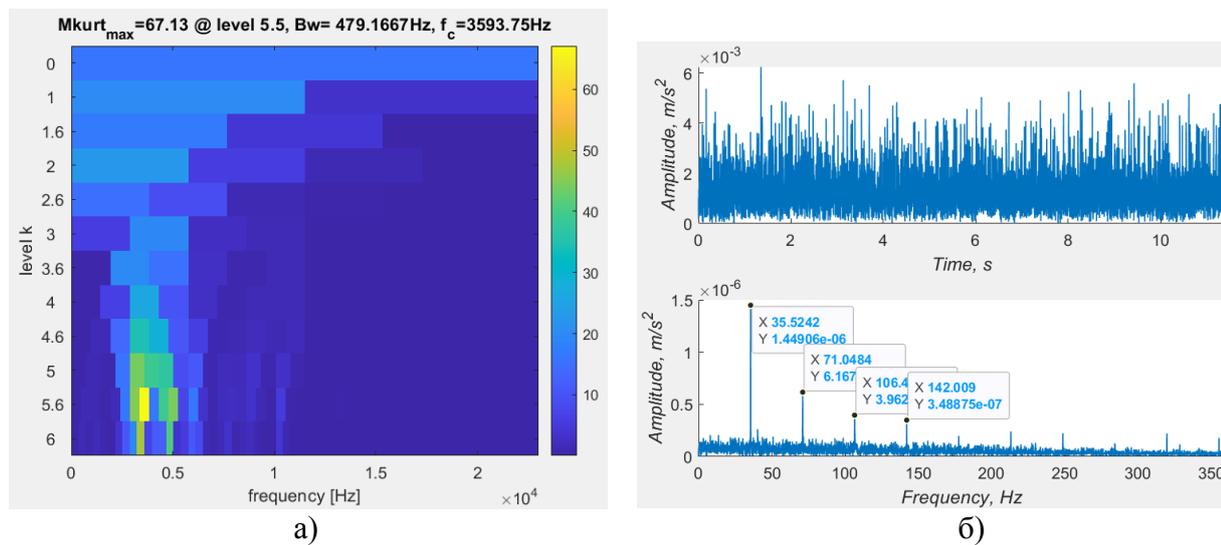


Рис. 1. Реалізація методу багатоточкового ексцесу:  
а) багатоточкова ексцесограма; б) квадратична обвідна сигналу та її спектр

На квадратичному спектрі обвідної вібрації (рис. 1 б) наявна домінуюча спектральна компонента та її вищі гармоніки (2-га, 3-тя, тощо). Частота першої гармоніки має відхилення на 1,8 % від розрахункової частоти пошкодження, що можна пояснити явищем кінематичного проковзування тіл кочення в навантаженій зоні підшипника, яке є неминучим у реальних умовах експлуатації та не враховується класичними розрахунковими моделями.

Отже, основна перевага розглянутого методу полягає у його вибірковості, де на відміну від традиційної швидкої ексцесограми здійснюється пошук оптимальної смуги частот, орієнтуючись виключно на задану розрахункову частоту пошкодження FCF. Це дозволяє ефективно відфільтрувати випадкові кінематичні збурення, не пов'язані з пошкодженнями підшипника. Отримані результати свідчать про доцільність подальшого застосування та удосконалення цього методу для додаткових уточнень результатів вібродіагностування відповідальних вузлів рухомого складу.

[1] Antoni J. Fast computation of the kurtogram for the detection of transient faults. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2007. Vol. 21(1). P. 108-124. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2005.12.002>  
[2] Liao Y., Sun P., Wang B., Qu L. Extraction of repetitive transients with frequency domain multipoint kurtosis for bearing fault diagnosis. *Measurement Science and Technology*. 2018. Vol. 29. 055012. <https://doi.org/10.1088/1361-6501/aaae99>

**APPLICATION OF THE WEIGHTED SLIDING AVERAGE FOR  
EXTRAPOLATING THE RELIABILITY INDICATORS OF  
DISEL LOCOMOTIVES**

**ЗАСТОСУВАННЯ СЕРЕДНЬОЗВАЖЕНОЇ КОВЗНОЇ СЕРЕДНЬОЇ  
ДЛЯ ЕКСТРАПОЛЯЦІЇ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ТЕПЛОВОЗІВ**

*V. Kovalenko*

*Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

*В.І. Коваленко*

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

The technical condition of diesel locomotives can be predicted using mathematical extrapolation of processes that describe the patterns of change in the reliability indicators of diesel locomotives during operation. The failure rate at the Osnova locomotive depot of the Southern Railway on a monthly basis over a period of 5 years was selected as an indicator of locomotive reliability. Given the rather complex dynamics of changes in the reliability indicator over time, its extrapolation was carried out on the basis of a weighted moving average [1,2,3].

When determining the trend of the time series of the indicator under study, it was assumed that it contained a seasonal component with a cycle equal to twelve months. Taking into account the subsequent quantitative assessment of seasonal fluctuations in the indicator of locomotive reliability under study:

- 1) The length of the active smoothing section of the time series was selected;
- 2) Assuming that the trend of the time series under study is nonlinear, as follows

from a visual analysis of its development dynamics, a second-degree polynomial ( $p=2$ ) of the following form is selected as the smoothing curve:

$$y_t = a_0 + a_1t + a_2t^2 \quad (1)$$

- 3) Estimation of coefficients,  $a_0, a_1, a_2$  for moment  $t=t_0$ , (performed by solving the obtained system of normal equations in matrix form)

The system found estimates of the parameters of the smoothing polynomial  $\bar{a}(t_0)$ ;

- 4) The estimates obtained depend on the smoothing center selected  $t_0$  (assuming that  $m$  and  $p$  are fixed);

5) Using the estimates  $\bar{a}(t_0)$ , a predictive model of locomotive  $\hat{y}_L(t_0)$  failure rates was obtained in the form of a weighted moving average.

$$\hat{y}_L(t_0) = \sum_{j=-k}^k \alpha_j(L) y_{t_0+j} \quad (2)$$

where the coefficients  $\alpha_i(L)$  vary only depending on the magnitude of the forecast warning  $L$ .

The quality of the forecast was assessed visually and based on the following criteria:

a) Teal's coefficient of variation [3]

$$V = \frac{\sqrt{\sum (y_t - Y_t)^2}}{\sqrt{\sum y_t^2}} \quad (3)$$

where  $y_t$  - actual value of the reliability indicator for diesel locomotives;

$Y_t$  - the value of the reliability indicator for diesel locomotives obtained by substituting it into the resulting model.

b) Average absolute approximation error [3]

$$\bar{e} = \frac{\sum |y_t - Y_t|}{n} \quad (4)$$

where  $n$  - number of members of the time series of the reliability indicator for diesel locomotives.

The extrapolation method based on a moving average with weighted coefficients, given the considerable complexity of obtaining a forecast model, has low accuracy ( $V=0.95$ ,  $\bar{e}=2.1$ ) for forecasting time series with complex dynamics; The degree of smoothing of the time series with a polynomial depends entirely on the length of the active smoothing section, the degree of the polynomial, and the number of time series smoothing procedures, which significantly affects the accuracy of the forecast, which, moreover, will decrease as the warning interval increases.

1. Nguyen L., Novak V. Forecasting seasonal time series based on fuzzy techniques. *Fuzzy Sets and Systems*. 2019. №361. С. 114–129.

2. Андрієнко В.М., Семенов А.С. Методика статистичного аналізу економічних часових рядів. *Науковий вісник ужгородського національного університету. Серія «Міжнародні економічні відносини та світове господарство»*. 2018. Т.1, Вип. 21. С. 5-12.

3. Єріна, А.М. Статистичне моделювання та прогнозування. Київ: КНЕУ, 2001. 167 с.

**APPLICATION OF ARTIFIKAL NEURAL NETWORK DEVICES FOR  
EXTRAPOLATING LOCOMOTIVE EFFICIENCY INDICATORS**

**ЗАСТОСУВАННЯ АПАРАТУ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ  
ЕКСТРАПОЛЯЦІЇ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ  
ЛОКОМОТИВІВ**

*D. Sc. (Tech.) O. Krashenin, V. Kovalenko  
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

*Д-р. техн. наук О.С. Крашенін, В.І. Коваленко  
Український державний університет залізничного транспорту (м.Харків)*

The operation of diesel locomotives in different seasons of the year is accompanied by changes in their utilization rates. The efficiency of this process can be assessed by downtime due to unscheduled repairs at any given moment. The disadvantage of the current planned preventive maintenance system for rolling stock is the rather strict regulation of its standards and the lack of effective methods for their operational forecasting, which leads to an inefficient distribution of work on maintenance and repairs and the occurrence of prolonged downtime for unscheduled repairs [1].

The process of forecasting the performance indicators of diesel locomotives for a specific period involves the development of a multifactorial mathematical model of the dynamics of changes in the forecast indicators over time. A number of authors have worked on optimizing the maintenance and repair system for rolling stock by improving methods for forecasting its operational performance indicators based on multifactor regression analysis. However, when applying traditional approaches and methods for forecasting the above indicators, it was assumed that the main trends and factors identified in the past would remain the same for the forecast period. Thus, the process of extrapolating the identified patterns and trends is based on the assumption of inertia of the analyzed systems.

Transportation operations in different seasons affect the mobility of the locomotive maintenance and repair system due to the increased rate of change in external operating factors, their presence or absence. In this regard, flexible and modern methods are needed to predict such complex processes. Neural networks are a very promising technology for controlling and predicting non-stationary processes [2,3].

The ability to model nonlinear processes without knowledge of their probabilistic characteristics and adaptability create the prerequisites for the use of neural networks to predict the reliability of diesel locomotives.

Given the significant number of factors affecting the maintenance and repair system of diesel locomotives and their change depending on the season of operation, forecasting operational efficiency indicators using neural networks can be formalized

as a multidimensional function forecasting task. In practice, most predicted time series are formed by complex dynamic systems with many degrees of freedom.

Therefore, for correct restoration of functional dependence, it is necessary that the sets of initial data on locomotive utilization efficiency indicators, which are part of both the training and control samples used to train the extrapolation neural network, do not contradict each other. That is, for two sets with the same description of the situation, the value of the forecast should not be different [3,4].

Considering the above, it is proposed that the process of operational forecasting of reliability indicators using neural networks be carried out in the following stages:

- a) Collection of statistical data on locomotive reliability indicators –  $Y$ , the values of which need to be predicted (e.g., locomotive downtime due to unscheduled repairs);
- b) The time series of the indicator under study must be presented in the form of a table containing consecutive sample values of the indicator under study;
- c) Preprocessing: bringing to stationarity (smoothing, taking differences, removing trends); normalizing and scaling output data; including coded variables corresponding to the month in which they were obtained in the output data;
- d) Preparation of sets of training examples consisting of an array of input vectors,  $X_1, X_2, \dots, X_n$  - samples of the time series, after transformations and preprocessing, of the studied indicator and their corresponding values - examples in the form of quantitative values of the predicted reliability indicator of diesel locomotives based on previous studies;
- e) The completed array is presented to the neural network;
- f) The network configured in this way is used for forecasting.

Given the above, forecasting the reliability of diesel locomotives using neural networks is a very promising method, mainly due to the increased accuracy of the forecast and the ability to take into account seasonal changes in the use of diesel locomotives; the proposed method for preparing input data allows for increased forecast accuracy and reduced neural network training time.

1. Жалкін Д.С. Прогнозування показників використання локомотивів. *Збірник наукових праць УкрДАЗТ*. 2013. №136. С. 82-85.
2. Ткаліченко С.В. Штучні нейронні мережі: навч. посіб. Кривий Ріг, 2023. 150 с.
3. Корнієнко В.І., Гусев О.Ю., Герасіна О.В. Інтелектуальне моделювання нелінійних динамічних процесів у системах керування, кібербезпеки, телекомунікаціях: підручник / За заг. ред. В.І. Корнієнка. Дніпро. 2020. 533 с.
4. S. Haykin. *Neural Networks and learning machines*. University Hamilton, Ontario, Canada. 2008. 887 p.

**ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТ ЗАСОБІВ  
ТРАНСПОРТУ І ІНФРАСТРУКТУРИ**

УДК 621.575:664

**ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ АМІАЧНИХ АБСОРБЦІЙНИХ  
ХОЛОДИЛЬНИХ УСТАНОВОК, ЩО ПРАЦЮЮТЬ НА ТЕПЛОТІ  
ДИМОВИХ ГАЗІВ, У ХАРЧОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ**

**PROSPECTS FOR THE IMPLEMENTATION OF AMMONIA ABSORPTION  
REFRIGERATION UNITS OPERATING ON FLUE GAS HEAT IN THE  
FOOD INDUSTRY**

*канд. техн. наук Ю.А. Бабіченко*

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

*J.A. Babichenko, PhD (Tech.)*

*Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Вступ та актуальність теми. В умовах зростання вартості енергоносіїв та посилення екологічних вимог до промислових виробництв, питання енергоефективності стає критичним для підприємств харчової промисловості. Специфікою цієї галузі (зокрема молочної, м'ясопереробної, пивоварної та кондитерської) є одночасна висока потреба у тепловій енергії (пастеризація, варка, миття обладнання) та холоді (охолодження продукції, зберігання, кондиціонування) [1, 2].

Традиційні системи холодопостачання базуються на парокомпресійних машинах, які є значними споживачами електричної енергії. Водночас, значна частина теплової енергії, що генерується котельнями підприємств, втрачається у вигляді низькопотенційної теплоти димових газів, що викидаються в атмосферу. Використання аміачних абсорбційних холодильних установок (ААХУ), джерелом енергії для яких є утилізована теплота димових газів, є перспективним напрямом декарбонізації виробництва та зниження собівартості продукції [3, 4, 5, 6].

Аналіз проблеми. Типові котельні установки харчових підприємств, що працюють на природному газі або біопаливі, мають температуру відхідних газів на рівні 140–220 °С. Цей температурний потенціал є занадто низьким для ефективної генерації електроенергії, але цілком достатнім для приводу термохімічних компресорів абсорбційних машин [7, 8, 9].

Незважаючи на це, потенціал вторинних енергоресурсів (ВЕР) на українських підприємствах використовується недостатньо. Основною перешкодою є розрив у часі між генерацією тепла та потребою в холоді, а

також складність інтеграції теплообмінного обладнання в існуючі димові тракти [10, 11, 12].

**Мета роботи.** Обґрунтування доцільності використання ААХУ для утилізації теплоти димових газів на підприємствах харчової промисловості з метою заміщення електроспоживання компресійних холодильних машин.

**Основна частина.** В роботі розглядається схема тригенераційної системи на базі існуючої котельні та абсорбційного чилера, що працює на робочій парі «аміак-вода» ( $\text{NH}_3$  -  $\text{H}_2\text{O}$ ). Вибір аміаку як холодоагенту (R717) обумовлений його термодинамічною ефективністю, нульовим потенціалом руйнування озону ( $\text{ODP}=0$ ) та нульовим потенціалом глобального потепління ( $\text{GWP}=0$ ), що відповідає міжнародним екологічним протоколам.

Технічне рішення передбачає встановлення у газоході котла спеціалізованого теплообмінника-утилізатора (економайзера-генератора). Отримана теплова енергія передається через проміжний контур (термомасло або перегріта вода під тиском) до кип'ятильника (генератора) ААХУ. Це дозволяє десорбувати пари аміаку з міцного розчину за температур джерела тепла 90–145 °С, що корелює з параметрами димових газів більшості котлів.

Термодинамічний аналіз циклу показує, що холодильний коефіцієнт (COP) одноступеневої аміачної АХУ знаходиться в межах 0,5–0,7. Це означає, що з 1 МВт теплової потужності димових газів можна отримати до 650–700 кВт холоду. Для харчових підприємств, де холодильне навантаження є постійним, це дозволяє вивести з експлуатації або перевести в резерв значні потужності електрокомпресійного обладнання.

Особливу увагу в роботі приділено проблемі низькотемпературної корозії теплообмінників. При глибокому охолодженні димових газів (нижче «точки роси») можлива конденсація водяної пари, що містить кислотні оксиди. Для природного газу температура точки роси становить 50–55 °С, а за наявності сірчистих сполук може підвищуватися до 100–160 °С. Запропоновано використання корозійностійких матеріалів або підтримання температури стінки теплообмінника вище критичного рівня.

**Економічна та екологічна ефективність.** Впровадження запропонованої схеми дозволяє:

1. Зменшити споживання електроенергії на виробництво холоду на 40–60%.
2. Підвищити загальний коефіцієнт використання палива (КВП) котельні до 92–95%.
3. Зменшити теплове забруднення навколишнього середовища.

**Висновки.** Використання аміачних абсорбційних холодильних установок, що утилізують теплоту димових газів, є технічно реалізованим та економічно виправданим рішенням для харчової промисловості. Така технологія трансформує відходи (теплові викиди) у цінний ресурс (холод), суттєво знижуючи операційні витрати підприємства. Подальші дослідження мають бути спрямовані на оптимізацію конструкцій теплообмінників-утилізаторів для роботи в агресивних середовищах та розробку систем автоматичного керування для балансування нерівномірності теплового та холодильного навантажень.

- [1] Analysis of energy characteristics of absorption water-ammonia refrigeration machines in the waste heat recovery systems of gas turbine installations on gas main pipelines / A. Titlov, O. Vasylyv, A. Abdelkader, A. Morozov // *Technology Audit and Production Reserves*. 2019. Vol. 5, № 1(49). P. 36–40. URL: doi:10.15587/2312-8372.2019.183853 (дата звернення: 30.11.2025)..
- [2] Development of cooling systems on the basis of absorption water-ammonia refrigerating machines of low refrigeration capacity / A. Titlov, Ye. Osadchuk, A. Tsoy, A. Alimkeshova // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 2, № 8(98). P. 57–67. URL: doi:10.15587/1729-4061.2019.164301 (дата звернення: 30.11.2025).
- [3] Waste-heat driven ammonia-water absorption chiller for severe ambient operation / S. Garimella, M. J. Ponkala, A. Goyal, M. A. Staedter // *Applied Thermal Engineering*. 2019. Vol. 154. P. 132–141 (Умовно). URL: doi:10.1016/j.applthermaleng.2019.03.098 (дата звернення: 30.11.2025).
- [4] Thermal Analysis of a Forced Flow Diffusion Absorption Refrigeration System for Fishing-Boat Exhaust Waste Heat Utilization / S. Du // *Frontiers in Energy Research*. 2021. Vol. 9. Article 761135. URL: doi:10.3389/fenrg.2021.761135 (дата звернення: 30.11.2025)..
- [5] Абсорбційні холодильні установки [Електронний ресурс]. System4. 2024. Режим доступу: <https://system4.ua/uk/article/absorbtsionnyie-holodilnyie-ustanovki> (дата звернення: 30.11.2025).
- [6] Лекція 7. Абсорбційні холодильні машини [Електронний ресурс]. ТДАТУ. Режим доступу: <http://www.tsatu.edu.ua/ophv/wp-content/uploads/sites/13/7.-lekciya-7-absorbtsijni-holodylni-mashyny.pdf> (дата звернення: 30.11.2025).
- [7] Ammonia (R-717): A Powerful and Natural Refrigerant [Електронний ресурс]. Refrigerant Sensor. 2025. URL: <https://refrigerantsensor.com/knowledge/ammonia/> (дата звернення: 30.11.2025).
- [8] Natural Refrigerants [Електронний ресурс]. GEA. 2024. Режим доступу: <https://www.gea.com/en/campaigns/natural-refrigerants/> (дата звернення: 30.11.2025)..
- [9] Рекуператор GNP для котла (утилізатор, економайзер) тепла димових газів [Електронний ресурс]. TD Favorit. 2024. URL: <https://tdfavorit.com.ua/ua/p2276061935-rekuperator-gnp-dlya.html> (дата звернення: 30.11.2025)
- [10] Виготовлення та ремонт економайзерів для котлів [Електронний ресурс]. Aspit. 2024. URL: <https://aspit.in.ua/ua/g37108721-izgotovlenie-remont-ekonomajzerov> (дата звернення: 30.11.2025).
- [11] Степанов, В.І. Котельні установки. Низькотемпературна корозія [Електронний ресурс]. ВНТУ. Режим доступу: [https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fbteg/stepanov\\_kotelniustanov/p9-3.html](https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fbteg/stepanov_kotelniustanov/p9-3.html) (дата звернення: 30.11.2025)..
- [12] Низькотемпературна корозія в твердопаливних котлах [Електронний ресурс]. Retra. 2025. URL: [https://retra.com.ua/?route=information/butik\\_blog/info&blog\\_id=47](https://retra.com.ua/?route=information/butik_blog/info&blog_id=47) (дата звернення: 30.11.2025).
- [13] Конденсат і низькотемпературна корозія [Електронний ресурс]. Arkada-Bud. 2016. URL: <https://arkada-bud.com/ua/a234414-kondensat-nizkotemperaturnaya-korroziya.html> (дата звернення: 30.11.2025).
- [14] Тригенерація [Електронний ресурс]. Вікіпедія. Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Тригенерація> (дата звернення: 30.11.2025).
- [15] Тригенерація [Електронний ресурс]. Tedom. Режим доступу: <https://www.tedom.com/ua/energetickyslovnik/тригенерація/> (дата звернення: 30.11.2025).
- [16] Вторинні енергетичні ресурси [Електронний ресурс]. StudFile. 2019. Режим доступу: <https://studfile.net/preview/11326480/page:9/> (дата звернення: 30.11.2025)..

**ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОВОГО НАСОСА ДЛЯ ОСУШЕННЯ У  
ФАРМАЦЕВТИЧНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ**

**APPLICATION OF A HEAT PUMP FOR DRYING IN THE  
PHARMACEUTICAL INDUSTRY**

*канд. техн. наук Ю.А. Бабіченко, А.В. Онищенко  
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

*J.A. Babichenko, PhD (Tech.), A.V. Onyshchenko  
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Вступ. Фармацевтична промисловість висуває надзвичайно жорсткі вимоги до контролю мікроклімату виробничих приміщень. Відповідно до стандартів належної виробничої практики (GMP) та вимог EU GMP Annex 1, чисті приміщення фармацевтичних підприємств повинні підтримувати відносну вологість у діапазоні 30–65% та температуру 18–26°C. Надмірна вологість може спричинити деградацію активних фармацевтичних інгредієнтів (API), мікробіологічне забруднення, злипання та агломерацію порошків, погіршення якості таблеток і капсул. Низька вологість, у свою чергу, призводить до накопичення статичної електрики та подразнення слизових оболонок працівників. Актуальним напрямком енергоефективного контролю вологості є застосування теплових насосів для осушення повітря [1, 2, 3, 4, 5].

Принцип роботи теплонасосного осушувача. Осушувач на базі теплового насоса поєднує холодильний цикл із процесом конденсаційного осушення. Вологе повітря з приміщення надходить до випарника теплового насоса, де охолоджується нижче точки роси. Волога конденсується на поверхні теплообмінника та відводиться у дренажну систему. Осушене холодне повітря проходить через конденсатор, де нагрівається за рахунок теплоти конденсації хладагенту, після чого повертається до приміщення. На відміну від традиційних конденсаційних осушувачів, що скидають теплоту в навколишнє середовище, теплонасосні системи утилізують цю енергію для підігріву повітря. Це забезпечує стабільність температури в приміщенні та суттєво підвищує енергоефективність процесу.

Енергетична ефективність. Коефіцієнт перетворення (COP) сучасних теплонасосних осушувачів досягає значень 2,5–3,5, що забезпечує економію електроенергії 30–50% порівняно з традиційними конденсаційними осушувачами. Натурні дослідження гібридних систем рідинно-десикантного кондиціонування з тепловим насосом на фармацевтичному складі в Китаї продемонстрували, що оптимізована система досягає COP 2,9–3,1 із загальною економією електроенергії 20,2% за сезон охолодження. Інтеграція адсорбційного (десикантного) колеса з високотемпературним тепловим насосом дозволяє досягти глибокого осушення з точкою роси повітря до -5°C

при COP системи 3,4–4,5. Гібридні системи забезпечують зниження енергоспоживання до 45% порівняно з традиційними системами кондиціонування [6].

Переваги для фармацевтичного виробництва. Теплонасосні осушувачі забезпечують: точний контроль відносної вологості з точністю  $\pm 5\%$ ; термічну стабільність приміщення завдяки рекуперації теплоти; можливість досягнення наднизької вологості (менше 40% RH) для виробництва таблеток, порошків та м'яких капсул; відповідність вимогам GMP та FDA щодо екологічності обладнання; значне зменшення викидів CO<sub>2</sub> за рахунок енергоефективності; захист від мікробіологічного забруднення та корозії обладнання. Конструкції з нержавіючої сталі забезпечують необхідну гігієнічність та корозійну стійкість для фармацевтичних чистих приміщень класів ISO 5–8.

Гібридні десикантно-теплонасосні системи. Найбільш перспективним є поєднання теплового насоса з десикантним (адсорбційним) ротором на основі силікагелю або цеоліту. Десикантний ротор ефективно працює при низьких температурах навколишнього середовища та забезпечує наднизьку вологість: 1–5% RH для виробництва літєвих батарей, 10–30% RH для критичних фармацевтичних процесів. Тепловий насос забезпечує регенерацію десиканту гарячим повітрям та утилізує теплоту адсорбції, підвищуючи загальну ефективність системи. Температура регенерації 50–80°C достатня для більшості застосувань при використанні високотемпературних теплових насосів.

Висновки. Застосування теплових насосів для осушення у фармацевтичній промисловості є енергоефективним та екологічним рішенням, що забезпечує точний контроль мікроклімату відповідно до вимог GMP та EU GMP Annex 1. Економія електроенергії 30–50%, стабільність температурно-вологісних параметрів середовища та можливість інтеграції з десикантними системами роблять теплонасосні осушувачі оптимальним вибором для сучасних фармацевтичних виробництв та складських приміщень.

- [1] Performance investigation of a hybrid liquid-desiccant air conditioning system in a pharmaceutical warehouse: a case study and refined strategy / L. Huang, B. Guan, M. Qi, Y. Liu // *Frontiers in Built Environment*. 2024. Vol. 10. Article 1468537. URL: doi:10.3389/fbuil.2024.1468537 (дата звернення: 20.11.2025)..
- [2] Achieving deep dehumidification through a heat pump-boosted desiccant wheel system / J.-H. Cheng, Z.-Y. Wang, X. Cao, X.-Y. Li, C.-L. Zhang // *Energy Conversion and Management*. 2024. Vol. 313. Article 118604. URL: doi:10.1016/j.enconman.2024.118604 (дата звернення: 25.11.2025).
- [3] DeAir. Dehumidifier for pharmaceutical industry: GMP/GSP Humidity Control Solutions. 2025. URL: <https://deair.com.vn/dehumidifier-for-pharmaceutical-industry> (дата звернення: 29.11.2025).
- [4] European Commission. EudraLex Volume 4, EU Guidelines for Good Manufacturing Practice, Annex 1: Manufacture of Sterile Medicinal Products. 2022. 58 p. URL: [https://www.syntegon.com/services/expert-services/annex-1-compliance/?utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=phl\\_always-on\\_en\\_emea&utm\\_term=gmp%20pharma&utm\\_content=%7Badgroup%7D&gad\\_source=1&gad\\_campaignid=22991100154&gbraid=0AAAAA-218hpcCjz5bEAd761ezEaqWi56l&gclid=CjwKCAiA86\\_JBhAIEiwA4i9Ju6FjH-sGiA3OB7I45mOnlW9Rn6mmqZjgBWghPB4vrfnvSC3e3ZnQshoC\\_GYQAvD\\_BwE](https://www.syntegon.com/services/expert-services/annex-1-compliance/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=phl_always-on_en_emea&utm_term=gmp%20pharma&utm_content=%7Badgroup%7D&gad_source=1&gad_campaignid=22991100154&gbraid=0AAAAA-218hpcCjz5bEAd761ezEaqWi56l&gclid=CjwKCAiA86_JBhAIEiwA4i9Ju6FjH-sGiA3OB7I45mOnlW9Rn6mmqZjgBWghPB4vrfnvSC3e3ZnQshoC_GYQAvD_BwE).
- [5] EI Solutions. Desiccant Heat Pump (DHP): Advanced HVAC technology for precise humidity control. 2024. URL: <https://eisolutions.ca/desiccant-heat-pump-dhp/> (дата звернення: 30.11.2025).
- [6] Munters. Pharmaceutical humidity control solutions. 2025. URL: <https://www.munters.com/en-us/industries/pharmaceutical/> (дата звернення: 30.11.2025).
- [7] Dantherm Group. Humidity control solution in pharmaceutical production facilities: Case study Insud Pharma. 2025. URL: <https://www.danthermgroup.com/uk/insights/humidity-control-solution-in-the-pharmaceutical-industry> (дата звернення: 30.11.2025)

**ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ МАЛОПОТУЖНИХ ВІТРЯКІВ НА  
ДАХУ ПАСАЖИРСЬКОГО ВАГОНУ ДЛЯ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ  
ЕНЕРГІЇ ПІД ЧАС РУХУ**

**PROSPECTS FOR USING LOW-POWER WIND TURBINES ON A  
PASSENGER RAILCAR ROOF FOR ELECTRIC POWER GENERATION  
DURING MOTION**

*канд. техн. наук Ю.А. Бабіченко, А.В. Онищенко  
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

*J.A. Babichenko, PhD (Tech.), A.V. Onyshchenko  
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

В умовах глобальної енергетичної кризи та необхідності декарбонізації транспортного сектору актуальним стає пошук альтернативних джерел електричної енергії для залізничного транспорту. Концепція використання вітрових турбін, розміщених на даху рухомого складу, привертає увагу дослідників як потенційний спосіб рекуперації енергії та зменшення залежності від зовнішніх джерел електропостачання. Особливий інтерес представляє застосування масиву малопотужних вітряків замість однієї великої турбіни [1, 2].

Метою роботи є аналіз доцільності та перспектив застосування масиву малопотужних вітрогенераторів на даху пасажирського вагону для генерації електричної енергії під час руху поїзда.

Теоретичні засади. Потужність вітрової турбіни визначається формулою:

$$P = 0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \cdot C_p \cdot \eta \quad (1)$$

де  $\rho$  — густина повітря (1,225 кг/м<sup>3</sup>),  $A$  — площа ротора (м<sup>2</sup>),  $V$  — швидкість повітряного потоку (м/с),  $C_p$  — коефіцієнт потужності (теоретичний максимум за межею Беца — 0,593),  $\eta$  — механічний та електричний ККД системи [3, 4].

При русі поїзда зі швидкістю 80–120 км/год (22–33 м/с) створюються сприятливі умови для роботи малопотужних турбін. Ключовим обмежуючим фактором є аеродинамічний опір, що збільшується внаслідок встановлення турбін на даху вагону [1, 5]].

Енергетичний баланс. Дослідження показують, що встановлення вітрової турбіни на транспортному засобі призводить до збільшення коефіцієнта аеродинамічного опору на 0,38–8,49% залежно від конструкції та розміщення. При цьому чистий приріст енергії від турбіни може становити 5,13–6,51% від енергетичних втрат на подолання аеродинамічного опору. Розрахунки

демонструють, що за оптимального проектування система може забезпечити позитивний енергетичний баланс [6, 7].

Конструктивні рішення. Для застосування на залізничному транспорті рекомендуються вертикально-осьові вітрові турбіни (VAWT), які мають переваги [2, 8]:

- незалежність від напрямку вітрового потоку;
- компактність та низький профіль;
- простота обслуговування;
- здатність працювати при турбулентних потоках.

Система TRT-WECS (Train Roof-Top Wind Energy Conversion System) з використанням концентраторів повітряного потоку може забезпечити річне вироблення електроенергії до 4,9 МВт·год на один вагон [9].

Практичне застосування. Згенерована електроенергія використовується для:

- систем освітлення та кондиціонування;
- зарядки акумуляторних батарей;
- живлення інформаційних систем та Wi-Fi;
- резервного електропостачання.

Індійська залізнична компанія Western Railway вже встановила п'ять малих вітрових турбін з вертикальними лопатями вздовж колій у Мумбаї для генерації енергії від потоків повітря, що створюються поїздами.<sup>[11]</sup>

Обмеження та виклики. Основними проблемами впровадження є:

- обмеження габаритів рухомого складу (тунелі, мости);
- підвищення споживання енергії на тягу;
- вібрації та акустичні навантаження;
- необхідність додаткового обслуговування;
- економічна доцільність.

Висновки. Малопотужні вітрогенератори на даху вагонів мають потенціал для часткового забезпечення власних енергопотреб рухомого складу. Масштабне впровадження потребує подальших досліджень щодо оптимізації конструкції та техніко-економічного обґрунтування. Перспективним є інтеграція з фотоелектричними панелями для створення гібридної системи.

[1] Feasibility study on wind energy harvesting system implementation in moving trains / A. V. R. V. Murty, C. M. K. Reddy, S. P. K. Murty, P. A. N. Murty // IEEE Conference Publication. 2017. URL: doi:10.4028/p-ha82nm (дата звернення: 20.11.2025)..

[2] Design and simulation of wind turbine on rail coach for power generation / T. Sathish et al. // Materials Today: Proceedings. 2020. URL: doi:10.17577/IJERTV6IS020381 (дата звернення: 22.11.2025).

[3] Influence of wind turbine mounted on vehicle on aerodynamic drag and energy gain / A. Yildiz // Scientia Iranica. 2025. URL: doi:10.24200/sci.2025.64275.8841 (дата звернення: 30.11.2025).

[4] Effect of wind turbine designed for electric vehicles on aerodynamics and energy performance of the vehicle / E. El, C. Yildiz, B. Dandil, A. Yildiz // Thermal Science. 2022. Vol. 26, № 4 Part A. P. 2907–2917. URL: doi:10.2298/TSCI2204907E (дата звернення: 25.11.2025).

[5] Feasibility studies of micro wind turbines installed on electric vehicles as range extenders using real-time analytical simulation with multi driving cycles scenarios / M. S. Y. Ebaid, Z. A. A. Shahin, M. Alshawabkeh // Advances in Mechanical Engineering. 2023. Vol. 15, № 4. P. 1–19. URL: doi:10.1177/16878132231165964 (дата звернення: 26.11.2025).

[6] Wind Energy Harnessing in a Railway Infrastructure: Converter Topology and Control Proposal / O. Oñederra, F. J. Asensio, G. Saldaña, J. I. San Martín // Electronics. 2020. Vol. 9, № 11. P. 1943. URL: doi:10.3390/electronics9111943 (дата звернення: 30.11.2025)..

УДК 621.375

## ТЕРМОСТІЙКІСТЬ ТА БЕЗПЕКА АКУМУЛЯТОРНИХ СИСТЕМ У ВИСОКОПОТУЖНИХ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯХ

### THERMAL STABILITY AND SAFETY OF BATTERY SYSTEMS IN HIGH-POWER ELECTRIC VEHICLES

*Д-р філос. Р.В. Багач, А.М. Дербін, А.О.Кабанник*

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет (м. Харків)*

*R.V. Bahach PhD (Tech.), A.M. Derbin, A.O. Kabannik*

*Kharkiv National Automobile and Highway University»(Kharkiv)*

Актуальність теми. Високопотужні електромобілі потребують батарей з більшою ємністю і високою щільністю енергії, що створює теплові навантаження та підвищує ризик деградації матеріалів і теплового розгону. Проблема термостійкості критична для надійності та ефективності електромобілів [1,2].

Актуальність дослідження обумовлена інтеграцією електромобілів у Smart Grid, що вимагає підвищеної стабільності та безпеки. Метою є аналіз теплових процесів і розробка методів підвищення термостійкості та безпеки акумуляторів через оптимізацію охолодження та адаптивне управління енергопотоками.

Об'єкт дослідження: акумуляторні системи високопотужних електромобілів.

Предмет дослідження: термічні процеси та методи забезпечення безпеки акумуляторів у режимах зарядки, рекуперації енергії та пікових навантажень.

Сучасні дослідження акумуляторних систем електромобілів охоплюють розвиток твердотільних батарей для зниження ризику теплового розгону, впровадження гібридних систем охолодження з рідинним охолодженням і фазозмінними матеріалами (PCM), а також використання мікроканальних структур для рівномірного теплового розподілу [3,4]. Інтеграція цифрових моделей з платформами машинного навчання дозволяє прогнозувати теплові стани в реальному часі, а адаптивні алгоритми управління оптимізують енергопотоки та підвищують безпеку.

Використання гібридних систем охолодження дозволяє знизити пікові температури батарей на 5 -8 °С і підвищити кількість циклів зарядки на 10-15 % у порівнянні з традиційними методами [4]. Наукова новизна дослідження полягає у комплексному підході до підвищення термостійкості та безпеки акумуляторних систем високопотужних електромобілів.

Методологія дослідження:

моделювання теплових процесів батарей з урахуванням електрохімії та гідродинаміки (COMSOL Multiphysics);

розробка гібридної системи охолодження з рідинним охолодженням, РСМ та мікроканалами;

експериментальні випробування на лабораторному електромобілі при різних температурах і режимах зарядки/розрядки;

аналіз результатів: пікові температури, перепади, падіння напруги, опір, втрати ємності.

Основні напрями дослідження:

-тепловий аналіз батарей під час рекуперації енергії та високих струмів;

- оптимізація охолодження для рівномірного розподілу тепла;

-превентивний захист через сенсори та алгоритми раннього попередження перегріву;

- використання цифрових двійників для прогнозування критичних станів батарей у реальному часі;

- адаптивне керування енергопотоками на основі машинного навчання.

Дослідження 2024 року включало створення прототипу гібридної системи охолодження акумуляторних модулів високопотужних електромобілів [5]:

- рідинний контур, що охолоджує елементи батареї через каналізовану структуру;

- фазозмінні матеріали (PCM), які акумулюють надлишкове тепло, зменшуючи температурні піки;

- мікроканали 0,5-1 мм для рівномірного теплообміну.

Результати експерименту:

зниження максимальної температури батареї на 3,4 - 7° С залежно від режиму зарядки/розрядки;

зменшення локальних температурних перепадів з 8 - 10° С до 2 - 3° С;

після 500 циклів батарея втратила лише 4% ємності (традиційне рідинне охолодження 7 - 8 %);

додаткові витрати енергії на роботу системи охолодження становлять 1,2–1,5 % від загальної потужності батареї.

Висновки. Термостійкість і безпека акумуляторних систем визначають ефективність електромобілів. Гібридне охолодження, цифрові двійники та адаптивні алгоритми знижують ризик перегріву, а моніторинг активує системи захисту. Наукова новизна - поєднання фізичних, електронних та алгоритмічних методів для підвищення термостійкості та енергоефективності батарей.

[1]Гнатов А. В., Аргун Щ. В., Багач Р. В., Гнатова Г.А., Тарасова В. В., Ручка О. О. Аналіз найбільш поширених методів визначення стійкості енергетичних систем. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології: електронне наукове спеціалізоване видання. Х.: ХНАДУ, 2021. № 20. – С. 17-26.

[2]Багач, Р. (2024). Підвищення електромагнітної сумісності і енергоефективності зарядної станції електромобілів. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології, (25), 53–62.

[3]Багач Р. В. (2024). Підвищення ефективності експлуатації автомобільного електротранспорту з використанням зарядних станцій постійного струму (Doctoral dissertation, Харківський національний автомобільно-дорожній університет).

- [4]Багач Р.В., Латвинський В.Д. (2025). Гібридне охолодження електроніки електромобілів. Збірник тез та доповідей міжнародної конференції "Енергетичні установки та альтернативні джерела енергії". 11–12 березня 2025 року – Харків: ФОП Бровін О.В., 2025. – 192 с. - с.68-71.
- [5] Lyu, Z., Su, J., Li, Z., Li, X., Yan, H., & Chen, L. (2024). A Compact Hybrid Battery Thermal Management System for Enhanced Cooling. arXiv preprint arXiv:2412.00999.

**УДК 621.316.7**

## **МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЗМІННОГО СТРУМУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕНЕРГІЇ**

### **MODELING AND OPTIMIZATION OF AC CONVERTERS FOR IMPROVING ENERGY QUALITY**

*Д-р філос. Р.В. Багач, Р.О. Осіпов, А.П.Певчий  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет» (м. Харків)*

*R.V. Bahach, PhD (Tech.), R.O. Osipov, A.P. Pevchyi  
Kharkiv National Automobile and Highway University (Kharkiv)*

Актуальність теми. Моделювання перетворювачів змінного струму є важливим для оптимізації енергетичних систем, зокрема для покращення якості струму та зменшення нелінійних спотворень. Це важливо при роботі з джерелами змінного струму, де необхідна ефективність та точність перетворення енергії.

Актуальність дослідження. Дослідження моделювання перетворювачів дозволяє покращити якість струму, знижуючи спотворення (THD), що є важливим для стабільної роботи енергетичних систем і підвищення ефективності перетворення енергії [1].

Об'єкт дослідження. Перетворювачі змінного струму, зокрема двонаправлені перетворювачі, їх блоки управління та вплив кількості комірок на якість струму.

Предмет дослідження. Процеси моделювання, керування та покращення форми струму в перетворювачах змінного струму, зокрема вплив широтно-імпульсної модуляції та кількості комірок на спотворення струму [2].

При експлуатації перетворювача з джерелом змінного струму використовується кероване джерело синусоїдальної напруги  $E_2$  на рис 1. Матричний перетворювач на вторинній стороні управляється блоками Repeating Sequence, при цьому в першій половині періоду мережі струм протікає в одному напрямку, а в другій - у зворотному [2].

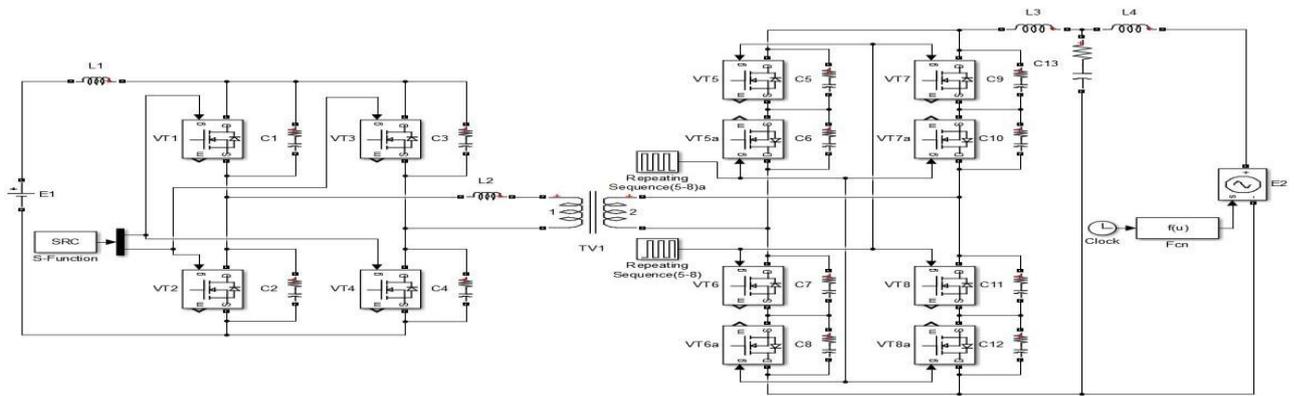


Рис. 1 - Схема перетворювача, що працює з джерелом змінного струму

Управління інвертором на первинній стороні здійснюється за допомогою блоку S - Function, використовуючи принцип широтно-імпульсної модуляції. Моделюючи схему на постійному струмі, визначені діапазони тривалості та періоду імпульсів для різних значень вихідної потужності, за яких перетворювач працює в режимі м'якої комутації. Залежно від необхідного миттєвого значення на виході випрямляча, вибирається відповідна тривалість і період імпульсу, що дозволяє формувати імпульс для керування транзисторами.

У двонаправленому перетворювачі змінного струму досліджується вплив збільшення кількості комірок на покращення форми струму. На рис. 2 зображено осцилограми струму джерела змінної напруги.

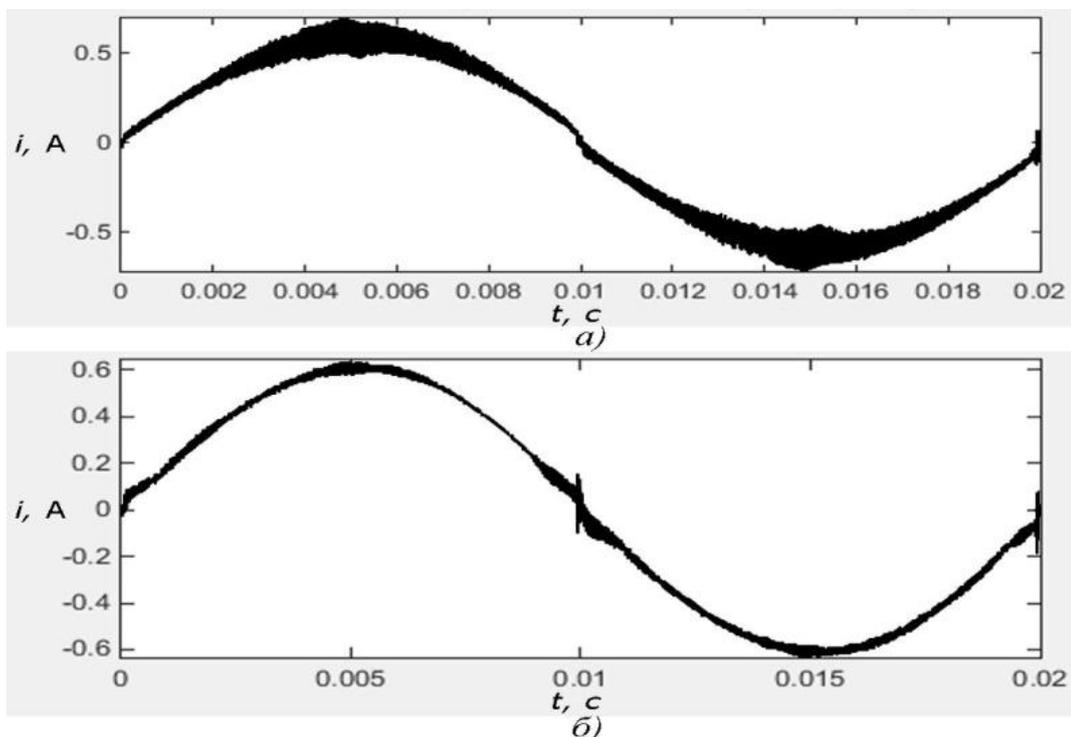


Рис. 2 - Графік вхідного струму джерела синусоїдальної напруги: а) для одномодульного перетворювача, б) для двомодульного перетворювача

Коефіцієнт нелінійних спотворень струму (THD) для однокоміркового перетворювача становить 9,48 %, а для двокоміркового - 4,29 %. Це свідчить про те, що збільшення кількості комірок сприяє покращенню форми струму.

Висновки. Дослідження моделювання перетворювачів змінного струму показує, що використання двонаправлених перетворювачів із широтно-імпульсною модуляцією дозволяє значно покращити якість струму, знижуючи нелінійні спотворення (THD) [2,3]. Збільшення кількості комірок у перетворювачі сприяє покращенню форми струму, що підвищує ефективність роботи перетворювача та стабільність енергетичних систем. Це підкреслює важливість подальшого розвитку технологій керування перетворювачами для оптимізації перетворення енергії та зниження втрат у електричних системах.

[1]Гнатов А. В., Аргун Щ. В., Багач Р. В., Гнатова Г.А., Тарасова В. В., Ручка О. О. Аналіз найбільш поширених методів визначення стійкості енергетичних систем. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології: електронне наукове спеціалізоване видання. Х.: ХНАДУ, 2021. № 20. – С. 17-26.

[2]Нерубацький В. П. Підвищення точності моделювання перехідних процесів і розрахунку втрат потужності напівпровідникових перетворювачів у програмному середовищі NI Multisim / В. П. Нерубацький, О. А. Плахтій, Д. А. Гордієнко, М. В. Філіп'єва, Р. В. Багач // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2023. – № 2. – С. 22-35.

[3]Багач Р. В., Гнатов А. В., Аргун Щ. В. 2024. Імітаційне моделювання зарядного контролера LTC4020 для літій-іонних акумуляторів. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології, (26), 11 с.

**УДК 620.9; 697.1; 621.56**

## **ЦИРКУЛЯЦІЙНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ У БУДІВЛЯХ: ОЦІНЮВАННЯ ТА ПРАКТИЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ ВПРОВАДЖЕННЯ**

### **CIRCULATORY ENERGY TECHNOLOGIES IN BUILDINGS: ASSESSMENT AND PRACTICAL IMPLEMENTATION RESULTS**

*канд. техн. наук Г.В.Біловол*

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

*H. V. Bilovol, PhD (Tech.)*

*Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

У будівлях значні обсяги низькопотенційного тепла продовжують втрачатися, тоді як більшість політик і досліджень зосереджуються на впровадженні відновлюваних джерел енергії та локальних технічних заходів [1]. За таких умов традиційні показники енергоефективності та поширені багатокритеріальні методи оцінювання не дозволяють коректно відобразити внесок рішень, що формують внутрішні циркуляційні енергетичні потоки, у довгострокову стійкість будівель [2]. Це зумовлює потребу в підході, який дає змогу порівнювати різноманітні енергоощадні та циркуляційні технології за єдиними інтегральними критеріями.

Метою дослідження є оцінювання циркуляційних енергетичних технологій у будівлях на основі інтегрального показника сталості та визначення їхнього практичного ефекту порівняно з традиційними енергоощадними заходами.

Запропонована методика апробована на результатах енергетичного аудиту багатоповерхової офісної будівлі, для якої було сформовано повний перелік енергоощадних заходів та згруповано їх у три категорії: технічні (інженерні), операційні та циркуляційні енергетичні рішення. Для коректного порівняння цих рішень застосовано інтегральний підхід, що поєднує оцінку енергетичного ефекту, екологічного результату та здатності формувати внутрішні енергетичні потоки.

Особливу увагу приділено розробленню та аналізу циркуляційного рішення, яке передбачає використання конденсаторного тепла холодильних машин для попереднього підігріву води системи ГВП. Схема інтеграції теплоутилізаційного модуля у гідравлічну систему будівлі наведена на рис. 1. У цьому рішенні частина теплоти, що раніше скидалася на драйкулери, спрямовується у буферну ємність та використовується для покриття постійного попиту ГВП.

Запропоноване рішення дозволяє відібрати частину конденсаторної теплоти, яка раніше скидалася на драйкулери. Доступний для повторного використання потенціал становить близько 260 Гкал/рік, а зменшення навантаження на драйкулери забезпечує додаткову економію близько 17 800 кВт·год/рік. Сукупний екологічний ефект рішення оцінюється на рівні приблизно 85,7 т CO<sub>2</sub> /рік.



Рис. 1 - Схема утилізації конденсаторного тепла в системі холодопостачання будівлі

Для порівняння ефективності трьох груп заходів енергетичні та екологічні показники були приведені до відносної шкали, після чого розраховано інтегральний показник сталості, що враховує енергетичний ефект, скорочення викидів та здатність формувати внутрішні енергетичні потоки.

*Технічна група (7 заходів)* охоплює інженерні втручання: балансування, модернізацію вузлів приєднання, оновлення обладнання. Сукупний енергетичний ефект становить 222,3 МВт·год/рік, інтегральний показник - SII = 0,54. Вплив цих рішень є локальним та накопичуваним.

*Операційна група (8 заходів)* включає регулювання параметрів роботи систем і вдосконалення моніторингу. Вона забезпечує найбільшу сумарну

економію - 392,0 МВт·год/рік, при  $SII = 0,73$ , що формує поступовий ефект за рахунок багатьох невеликих коригувань.

*Циркуляційне енергетичне рішення (1 захід)* забезпечує принципово інший результат. Потенціал рекуперації теплоти становить 319,8 МВт·год/рік, що зіставно з двома попередніми групами, але досягається одним технологічним втручанням. Інтегральний показник сталості є найвищим -  $SII = 0,86$ , що відображає системний характер впливу та формування внутрішнього енергетичного контуру будівлі.

Отримані результати свідчать, що технічні та операційні заходи забезпечують переважно покрокові покращення енергетичних характеристик будівлі, тоді як циркуляційні технології формують найбільший системний ефект завдяки створенню внутрішніх енергетичних потоків. Це підкреслює їхню важливу роль у підвищенні енергетичної стійкості та скороченні вуглецевих викидів, а також обґрунтовує доцільність включення таких рішень до пріоритетних напрямів стратегій декарбонізації будівель.

1. United Nations, Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development (2015). <https://sdgs.un.org/2030agenda>

2. Mardani, A., Awasthi, A., & Streimikiene, D. (2015). Multi-criteria decision-making techniques in sustainable energy management: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 161–193. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.003>

**УДК 620.9:681.121**

## **ВСТАНОВЛЕННЯ ЛІЧИЛЬНИКІВ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ЯК ЗАХІД ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

### **INSTALLATION OF HEAT ENERGY METERS AS AN ENERGY SAVING MEASURE**

*Канд. техн. наук О.В. Василенко,  
Український Державний Університет залізничного транспорту (м. Харків)*

*O. V. Vasylenko, PhD (Tech.)  
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Теплолічильник — пристрій для точного обліку спожитої теплової енергії в системах централізованого опалення та ГВП. Основні компоненти. Лічильник витрати теплоносія (ультразвуковий, турбінний, електромагнітний) — вимірює об'ємний/масовий потік води  $G$  (м<sup>3</sup>/год або кг/год). Температурні датчики — фіксують температуру на вході ( $t_1$ , подача) та виході ( $t_2$ , зворотка) з точністю  $\pm 0,05^\circ\text{C}$ .

Відповідно розрахунок спожитої теплової енергії відбувається за наступною формулою:

$$Q = 1,163 \times G \times (t_1 - t_2) \times \tau, \quad (1)$$

де  $Q$  — теплова енергія (Гкал або кВт·год);  
1,163 — коеф. теплоємності води (кВт·год/м<sup>3</sup>·°C);  
 $\tau$  — час експлуатації.

Встановлення лічильників перетворює "абонентну" систему оплати (за площею) на комерційний облік за фактичним споживанням, що стимулює раціональне використання енергії споживачем та потребує підвищення ефективності в виробництві і зменшення втрат при транспортуванні теплової енергії. Підчас обстеження систем виявлення основні групи втрат теплової енергії, до них можна віднести такі як технічні втрати що становлять 20-30% і виникають внаслідок нерівномірного розподілу теплової енергії в приміщеннях; друга велика група втрат яка становить 15-25% відбувається через неізольовані системи розподілу теплоносія в серединні будинку. Нормативно-правова база в Україні відповідно до закону "Про комерційний облік теплової енергії та водопостачання" (2017): вимагає обов'язкове встановлення лічильників теплової енергії до 2022 р. (перенесено на 2025-2027). Встановлення лічильників змінює принцип оплати з розрахункового (за квадратні метри або за нормативами споживання) на фактичний (за реально спожиті Гікалорії). Облік — це перший і обов'язковий крок будь-якої стратегії енергозбереження. Неможливо ефективно управляти ресурсом, який неможливо точно виміряти. Коли споживач бачить пряму залежність між своїми діями (закриття вікон, регулювання батарей) та сумою в платіжці, з'являється фінансова мотивація економити. Відсутність лічильника породжує безвідповідальне споживання ("все одно плачу фіксовану суму"). Наявність приладу обліку дисциплінує. Практика показує, що лише встановлення загальнобудинкового лічильника (без термомодернізації) може знизити нарахування на 10-30% шляхом усунення оплати за нормативні втрати тепломереж, які часто закладаються в тариф. Важливим чинником є при встановленні лічильника забезпечити і регулювання споживанням енергії. Встановлення лічильника повинно супроводжуватися монтажем термостатичних головок на радіатори. Це дозволяє уникнути "перетопів" (коли в квартирі занадто жарко і люди відкривають вікна, випускаючи тепло), знижуючи подачу тепла.

Індивідуальний тепловий пункт (ІТП): На рівні будинку лічильник має працювати в тандемі з ІТП, який автоматично регулює подачу тепла залежно від погодних умов на вулиці (погодне регулювання).

Встановлення лічильників теплової енергії є критично важливим етапом модернізації житлово-комунального господарства. Це інструмент, який перетворює мешканця з пасивного платника на активного учасника ринку енергоспоживання. Максимальний ефект досягається лише в комплексі: Облік (лічильник) + Регулювання (термоголовки/ІТП) + Утеплення (термомодернізація).

## КОГЕНЕРАЦІЙНІ УСТАНОВКИ: ТЕХНОЛОГІЇ ТА МОЖЛИВОСТІ

## COGENERATION PLANTS: TECHNOLOGIES AND OPPORTUNITIES

*Канд. техн. наук О.В. Василенко, М.В. Сташко*  
*Український Державний Університет Залізничного транспорту (м. Харків)*

*O.V. Vasylenko, PhD (Tech.), M.V. Stashko*  
*Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Когенерація (комбіноване виробництво тепла та електроенергії) перестала бути просто технологією енергоефективності. У 2024-2025 роках для України це — стратегія виживання енергосистеми та запорука життєдіяльності міст під час війни. Традиційна радянська модель енергетики базувалася на велетенських ТЕС та ТЕЦ. Це робить систему вразливою: одна ракета може залишити без світла та тепла цілий регіон. Когенераційні установки (КГУ) — це здебільшого малі та середні об'єкти (міні-ТЕЦ), які встановлюються безпосередньо біля споживача (котельні мікрорайонів, лікарні, водоканали). У випадку блекауту така установка продовжує працювати автономно. Вона живить сама себе та критичну інфраструктуру навколо. Наприклад, котельня не зупиняється, бо насоси працюють від електрики, яку виробляє КГУ тут же. Технологічна схема когенераційні установки це паливо (газ, біомаса, RDF тощо) використовується у двигуні внутрішнього згоряння (ДВЗ), газовій турбіні або іншому первинному двигуні. Двигун обертає електричний генератор, виробляючи електроенергію. Одночасно відводиться тепло від: охолодження двигуна (контур охолодження), вихлопних газів (рекуператори, теплообмінники). Це тепло передається теплоносію (воді) та використовується для опалення та гарячого водопостачання. Енергетична ефективність, у традиційній роздільній системі (електростанція + котельня) загальний ККД становить 45-55%; електростанція: ККД 35-40% (решта втрачається з димовими газами та охолодженням); котельня: ККД 85-90%; втрати при транспортуванні електроенергії та тепла: 10-20%. У когенераційній установці загальний ККД досягає 85-90%, електричний ККД: 35-45%, а тепловий ККД: 45-50%. Типи когенераційних установок за потужністю які представлені на ринку України: Мікро-ТЕЦ (1-50 кВт електричних) призначення для індивідуальних будинків, невеликих підприємств, на базі малих ДВЗ, двигунів Стірлінга; Міні-ТЕЦ (50 кВт — 10 МВт), для мікрорайонів, великих будинків, лікарень, торгових центрів, на базі газових ДВЗ, малих газових турбін. Саме ці установки масово впроваджуються в Україні; Середні ТЕЦ (10-50 МВт), для районів міста, промислових підприємств. Великі ТЕЦ (понад 50 МВт) традиційні теплоелектроцентралі.

Основні переваги які забезпечують когенераційні установки для міст України:

1. Автономність. Міні-ТЕЦ може працювати незалежно від загальноміської електромережі (режим «острівної роботи»), забезпечуючи критичні об'єкти під час блекаутів.
2. Швидкість інсталяції. Блочно-модульна когенераційна установка (БМКУ) виготовляється на заводі, доставляється на об'єкт у вигляді готового контейнера або модулів, монтується за 1-3 місяці (проти 3-5 років для великої ТЕЦ).
3. Масштабованість. Можливість нарощувати потужність поетапно, додаючи модулі за мірою зростання потреб чи фінансування.
4. Екологічність. Локальне виробництво з сучасними системами очищення викидів, використання природного газу або біопалива з нижчими викидами CO<sub>2</sub> завдяки вугільним ТЕЦ.
5. Можливість продажу електроенергії. Надлишкова електроенергія може продаватися в загальній мережі, забезпечуючи додатковий дохід і швидку окупність.

Встановлення когенераційних установок для України зараз — це питання національної безпеки. Це перехід від вразливої централізованої моделі до стійкої мережі розподіленої генерації, яку ворогові майже неможливо знищити повністю.

**УДК 621.311.2:621.436.04**

## **ПОЛПШЕННЯ ПУСКОВИХ ЯКОСТЕЙ ДИЗЕЛЬНОГО ГЕНЕРАТОРА ЗА НИЗЬКИХ ТЕМПЕРАТУР ПОВІТРЯ**

### **IMPROVING STARTING QUALITIES OF A DIESEL GENERATOR AT LOW AIR TEMPERATURES**

*Док. техн. наук О.І. Воронков<sup>1,3</sup>, док. техн. наук А.М. Авраменко<sup>2,3</sup>,  
Д.І. Виговський<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>*Національний ТУ «Дніпровська політехніка» (м. Дніпро)*

<sup>2</sup>*ІЕМС ім. А.М. Підгорного НАН України (м. Харків)*

<sup>3</sup>*Харківський національний автомобільно-дорожній університет (м. Харків)*

*O.I. Voronkov<sup>1,3</sup>, Dr. Sc. (Tech.), A.M. Avramenko<sup>2,3</sup>, Dr. Sc. (Tech.),  
D.I. Vyhovskiy<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>*National Technical University "Dnipro Polytechnic" (Dnipro)*

<sup>2</sup>*A.M. Pidhornyi Institute of Mechanical Engineering Problems of the NAS of Ukraine  
(Kharkiv)*

<sup>3</sup>*Kharkiv National Automobile and Highway University (Kharkiv))*

Актуальність. При температурах навколишнього середовища в зимовий період до мінус 30 °С - серйозною проблемою є забезпечення надійного, гарантованого пуску та працездатності малогабаритного дизеля з повітряним охолодженням. З урахуванням специфіки застосування виробів на базі

малорозмірних дизелів з повітряним охолодженням, часто пов'язаної з жорсткими умовами експлуатації в досить віддаленій від інфраструктури місцевості, важливою особливістю дизеля буде здатність його автономного пуску без застосування стаціонарних, а так само технічно складних систем, що потребують постійної наявності.

Метою роботи є покращення пускових якостей малорозмірних дизелів з повітряним охолодженням в умовах негативних температур до мінус 30 °С.

Мета була реалізована в результаті постановки та вирішення наступних завдань:

- провести аналіз проблем пуску дизельного двигуна в умовах негативних температур довкілля;

- провести математичне моделювання процесів передпускової підготовки та пуску малорозмірного дизеля з повітряним охолодженням у всьому діапазоні негативних температур навколишнього середовища;

- встановити закономірності впливу температури повітря на впуску, середньої пускової частоти на середню та максимальну температуру в камері згоряння дизеля на основі розрахунково-експериментальних досліджень;

- вибрати конструкцію та спосіб передпускової підготовки та пуску малорозмірного дизеля з повітряним охолодженням за умов температур (до мінус 30 °С).

Об'єктом дослідження у цій роботі - є багатоцільовий швидкохідний дизель з повітряним охолодженням типу 1Ч 9,0/7,5.

Предметом дослідження є процес передпускової підготовки та пуску дизеля в умовах негативних температур навколишнього середовища.

Проведений аналіз існуючих систем підігріву повітря дизеля в умовах негативних температур навколишнього середовища показав, що є декілька засобів для підігріву повітря. Такими є: свічки розжарювання для підігріву камери згоряння з відкритим нагрівальним елементом і з закритим нагрівальним елементом, та їх складові [1], електрофакельні підігрівачі [2], аерозольний пристрій з електромагнітним приводом. Широко застосовуються системи полегшення пуску двигунів - автономні повітряні обігрівачі та підігрівачі рідини, Webasto [3] та Eberspecher [4].

Ці прилади встановлюються у розріз системи охолодження двигуна. Охолоджуюча рідина циркулюючи, за допомогою вбудованого насоса, через теплообмінник приладу нагрівається від камери згоряння підігрівача, що знаходиться всередині теплообмінника, тим самим забезпечуючи прогрів двигуна.

За допомогою застосованої математичної моделі в роботі було проведено серію обчислювальних експериментів для дослідження впливу конструктивних та експлуатаційних параметрів на середню та максимальну температуру в камері згоряння дизеля.

Отримані результати можна використовувати для аналізу відповідності температури в циліндрі - температурі самозаймання паливоповітряної суміші, враховуючи зміни компресії дизеля, залежно від температур на впуску.

Для дослідження обрано малогабаритний одноциліндровий чотиритактний дизельний двигун 1 Ч 9,0/7,5 широкого кола застосування.

Виходячи з результатів проведених експериментальних досліджень процесів передпускової підготовки та пуску дизеля, а також з урахуванням огляду наукових праць, присвячених питанням полегшення пуску дизельних двигунів в умовах негативних температур, застосовано зразок індуктивного підігрівача впускного повітря (ПВП) з напругою живлення 24 В і потужністю 250 Вт.

Пристрій ПВП являє собою циліндричний корпус, виготовлений з магнітного матеріалу, який встановлювався во впускному трубопроводі аналогічно конструкції [5].

Висновки. Відмінною особливістю ПВП - є простота конструкції та низька собівартість, що особливо важливо при експлуатації у віддалених районах від інфраструктури, де важлива можливість усунути несправність на місці, без використання спеціального інструменту та залучення спеціалізованих майстерень. ПВП має порівняно невеликі габарити і легко інтегрується в конструкцію практично будь-якого дизеля, забезпечуючи надійний запуск при низьких температурах, тим самим, значно підвищуючи пускові і споживацькі характеристики дизеля.

[1] <https://hipavto.com.ua/svechi-nakalivaniya-dlya-dizelnogo-dvigatelya/>

[2] <https://ukragropostach.com.ua/ua/elektrofakelnyy-podogrevatel-mtz?srsId=AfmBOorfIk8aZumfOXmIbVKU8rtYHKO6S23cUmSdbMKBFSg1PCSOaUJZ>

[3] <https://webasto-ua.com/ua/thermo-top-pro-120/>

[4] <https://www.eberspaecher-climate.com/no/no/produkter/fuel-operated-heaters>

[5] Патент на корисну модель № 151746 Україна, F02B47/00. Поршневий тепловий двигун з індукційним підігрівом повітря у циліндрах / Гнатов А. В., Аргун Щ. В., Воронков О.І., Нікітченко І.М., Гнатова Г.А. – № u202107646; заявл. 28.12.2021; опубл. 07.09.2022, Бюл. №36.

**УДК 629.4.072**

## **ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЯГОВО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВИПРОБУВАНЬ РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ.**

### **WAYS TO IMPROVE THRUST AND OPERATIONAL TESTS OF RAILWAY ROLLING STOCK.**

***О.О. Анацький<sup>1</sup>, В.О. Косовський<sup>1</sup>, В.М. Тарасенко<sup>1</sup>, А.І. Шейн<sup>1</sup>***

*<sup>1</sup>Український державний університет залізничного транспорту (м.Харків)*

***О.О. Anatskyi<sup>1</sup>, V.O. Kosovsky<sup>1</sup>, V.M. Tarasenko<sup>1</sup>, A.I. Shein<sup>1</sup>***

*<sup>1</sup>Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Наявний стан парку тягового рухомого складу старого типу, необхідність продовження термінів його експлуатації, оновлення рухомого складу за рахунок закупівлі нових типів локомотивів потребує виважених рішень для вирішення питання обґрунтованого підходу до контролю витрат палива та

електроенергії для конкретних одиниць рухомого складу, що перебувають в експлуатації АТ “Укрзалізниця”[1].

Дана задача в сучасних умовах залізниць України вирішується шляхом використання дослідних поїздок тягово-енергетичними вагонами лабораторіями (ТЕВЛ), інформаційно-обчислювальні комплекси яких потребують модернізації з урахуванням сучасних вимог у зв'язку з одночасним перебуванням в експлуатації як застарілих одиниць рухомого складу так і нових моделей закордонних виробників [2].

У контексті необхідності технічного оновлення залізничної інфраструктури України, а також поступової інтеграції у європейський транспортний простір, виникає потреба модернізації системи проведення таких випробувань. Традиційні методики вже не повною мірою відповідають сучасним вимогам щодо оперативності, точності й інформативності, тому їх удосконалення є важливим чинником підвищення тягового рухомого складу[3].

Модернізація тягово-енергетичного вагона-лабораторії є комплексним процесом, що передбачає широке впровадження інтелектуальних систем моніторингу в реальному часі. Використання мереж датчиків, технологій ІоТ та засобів автоматизованого збору даних дасть змогу фіксувати параметри роботи тягового обладнання під час реальних експлуатаційних режимів. До таких параметрів належать тягові зусилля, навантажувальні та температурні показники, вібраційні характеристики, витрати електроенергії або дизельного палива, зміни у роботі систем керування. Аналіз значних обсягів цих даних за допомогою алгоритмів машинного навчання дозволяє оперативно виявляти відхилення, прогнозувати можливі відмови та формувати рекомендації для оптимізації роботи рухомого складу. У результаті зменшується необхідність у громіздких та енерговитратних стендових випробуваннях, а їх частину замінити високоточними цифровими вимірюваннями. Це створює умови для впровадження передових технологій управління тяговими системами та сприяє підвищенню загальної ефективності експлуатації залізничного транспорту [4].

Ще одним значущим елементом удосконалення є інтеграція (гармонізація) українських методик випробувань із міжнародними стандартами, зокрема документами UIC, ERA та EN. Таке узгодження дозволить забезпечити взаємну сумісність техніки, полегшить процедури сертифікації нового тягового рухомого складу, а також сприятиме виходу українських виробників на європейські й світові ринки. Підвищення відповідності міжнародним нормам також забезпечить більш високий рівень безпеки, надійності та прозорості результатів випробувань [5,6].

Також важливою складовою є підвищення професійного рівня фахівців, що безпосередньо займаються проведенням тягово-експлуатаційних випробувань. Адже сучасне випробувальне обладнання, аналіз даних за допомогою цифрових систем і програмні комплекси моделювання вимагають нових компетенцій. Виконавці мають володіти навичками роботи з великими даними, розуміти принципи функціонування складних електронних систем, мати досвід роботи з цифровими двійниками та інтелектуальними діагностичними платформами. Систематичні курси підвищення кваліфікації, стажування в міжнародних

організаціях та співпраця з науковими інститутами значно підвищують якість проведення випробувань.

Таким чином, шляхи удосконалення тягово-експлуатаційних випробувань рухомого складу залізниць охоплюють застосування сучасних інформаційних технологій, модернізацію інфраструктури, цифрове моделювання, підвищення енергоефективності, приведення методик до міжнародних вимог та розвиток кадрового потенціалу. Реалізація цих напрямів забезпечить підвищення технічного рівня рухомого складу, зменшення експлуатаційних витрат і підвищення загальної безпеки залізничних перевезень, що є критично важливим для подальшого розвитку залізничного транспорту України.

- [1] Енергія творчості зберігає... енергоресурси. URL: [https://www.uz.gov.ua/press\\_center/latest\\_news/archive/main\\_news/page-312/230141](https://www.uz.gov.ua/press_center/latest_news/archive/main_news/page-312/230141) (дата звернення 20.11.2025).
- [2] Правил тягових розрахунків для поїзної роботи по електровозах ЧС7, ЧС8, ДЕ1, ДС3, 2ЕЛ5,2ЕС5К, тепловозах ТЕП150, ТЕМ 103, дизель-поїздах ДЕЛ-02, електропоїздах ЕПЛ2т, ЕПЛ9т ЦТ-0199ю наказ №206-ЦЗ 22.12.2010 К.: Укрзалізниця, 2010. - 56 с
- [3] [Коваленко Д.М., Матяш В.О., Аулін Д.О., Анацький О.О. \(2021\) Перспективні заходи з ресурсозбереження для тепловозів. Залізничний транспорт України. І. С. 30-40.](#)
- [4] Spiryagin, M., Wu, Q., Polach, O. et al. Problems, assumptions and solutions in locomotive design, traction and operational studies. Rail. Eng. Science 30,265-288 (2022).
- [5] Анацький О.О., Аулін Д.О. Конструкційні та технологічні заходи з ресурсозбереження. *Інформаційний бюлетень АТ «Укрзалізниця»*. 2018. №6. С. 23-25.
- [6] Тягові випробувальні лабораторії. URL: <https://bizorg.su/sistemy-kontrolya-kompleksnye-r/p13594559-tyagovye-ispytatelnye-laboratorii> (дата звернення 28.11.2025).

**FEATURES OF ASSESSING THE CONDITION OF MARINE HEAT-EXCHANGE EQUIPMENT BASED ON DIGITAL TWIN TECHNOLOGY**

**ОСОБЛИВОСТІ ОЦІНКИ СТАНУ СУДНОВОГО ТЕПЛООБМІННОГО ОБЛАДНАННЯ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ЦИФРОВОГО ДВІЙНИКА**

*I. Gritsuk<sup>1</sup>, D. Sc. (Tech.), D. Pohorletskyi<sup>2</sup>, PhD (Tech.), A. Dzyhar<sup>2</sup>,  
V. Zadorozhnyi<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv)*

*<sup>2</sup>Kherson State Maritime Academy, (Kherson)*

*Док. техн. наук І. Грицук<sup>1</sup>, канд. техн. наук Д. Погорлецький<sup>2</sup>, А. Дигар<sup>2</sup>,  
В. Задорозжний<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Чернігівський національний технологічний університет (м. Чернігів)*

*<sup>2</sup>Херсонська державна морська академія (м. Херсон)*

Improving the performance of marine and transport power plants is closely linked to enhancing the efficiency of thermal energy conversion within their components [1]. These processes follow the laws of thermodynamics, fluid and gas dynamics, and heat and mass transfer, defining the overall efficiency of power plants, the level of thermal emissions and harmful exhaust components, as well as the durability, compactness, and technological advancement of their systems [2]. Heat-exchange units, as integral parts of power plants, exert a significant influence on these performance indicators [3].

It is well established that the technical and economic characteristics of thermal power systems are largely determined by the parameters of thermal equipment and heat exchangers. The need to modernize the equipment of marine power plants, combined with the increasing mass and dimensional parameters of heating and heat-exchange devices, necessitates the development, improvement, and implementation of scientific and engineering solutions aimed at intensifying convective heat-transfer processes [4]. These efforts are directed at achieving comprehensive improvements in economic, environmental, resource, and mass-dimensional characteristics, as well as reducing fuel consumption and thermal and harmful emissions.

The purpose of this study is to substantiate the methodological foundations for assessing the condition of marine heat-exchange units within an operational framework using digital-twin technology for marine power plants.

In this work, the information system for assessing the technical condition of marine heat exchangers, based on digital-twin technology, was adapted to provide stable real-time data acquisition under operating conditions. The analytical component of the digital-twin system is designed to evaluate boundary values, generate rational and optimal operational characteristics, and forecast the condition parameters of marine heat-exchange units in service. It also ensures interaction with other systems of the transport vessel and its power plant. Furthermore, this analytical

component performs computational and control functions required for maintaining stable technical oversight of a cargo vessel, its propulsion plant, and individual components, mechanisms, and systems. This includes supporting all aspects of operational efficiency—maintenance, fuel use, process liquids, consumables, and spare parts management [3].

The objective function of the study ( $Q_{i\Sigma}(t)$ ), integrates the processes of improving operational efficiency ( $Q(P_{esmpi}(t))$ ), conducting maintenance activities ( $Q(E_{mcosmpi}(t))$ ) and managing the use of fuel, process liquids, consumables, and spare parts under real operating conditions ( $Q(E_{uffjcsi}(t))$ ). It incorporates both objective and subjective operational factors influencing the performance of marine heat-exchange equipment based on digital-twin modelling. This approach ensures the operability of the entire ship's power system by minimizing fuel consumption. Objective factors include the design of the heat exchanger, heat-transfer surface area (number and condition of plates), coolant flow rates (mass and volumetric), heat-transfer coefficients, fouling thickness, heat-exchange velocity, and other technological parameters. Subjective factors depend on the technical state of the vessel's heat-exchange equipment, the propulsion plant as a whole, operational modes, control strategies, and maintenance quality. Additionally, the function must remain compatible with other components of the proposed methodological approach.

The proposed research function can be expressed as follows:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{i\Sigma}(t) = \Sigma(Q(P_{esmpi}(t)) + Q(E_{mcosmpi}(t)) + Q(E_{uffjcsi}(t))) \rightarrow \max \\ Q(P_{esmpi}(t)) = F(F_{SMIsP}, DR_{Li}, S_{OSPP}, P_{DUi}) \rightarrow \max \\ Q(E_{mcosmpi}(t)) = F(F_{SMIsP}, S_{OSPP}) \rightarrow \max \\ Q(E_{uffjcsi}(t)) = F(F_{SMIsP}, DR_{Li}, S_{OSPP}, P_{DUi}) \rightarrow \max \\ G_{Pt} \rightarrow \min \end{array} \right. \quad (1)$$

A distinctive feature of the proposed function is that its implementation simultaneously addresses both minimalist and maximalist objectives, forming a minimax problem. This means that the system must concurrently ensure the technical condition of the cargo vessel, its power plant, and all related subsystems, components, mechanisms, and assemblies while reproducing the processes required to guarantee operational efficiency, execute maintenance activities, and manage the use of fuel, technological fluids, consumables, spare parts, and other resources. The objective is to maximize operational effectiveness and system performance, while the corresponding expenditures and degradation indicators are expected to reach their minimum feasible values.

Considering the numerous factors influencing the attainment of these parameters, it is possible to distinguish between the vessel's structural and design characteristics, the technical features of the power plant, the condition of individual subsystems and mechanisms, as well as the actual operational environment and management regimes (maintenance and repair strategies).

To enable the application of remote monitoring tools within the research framework, an additional analysis of their implementation is required. This includes technologies for remote assessment of technical-condition parameters and the identification of criteria that improve the execution of assigned tasks, particularly with regard to heat-exchange equipment. These tools rely on intelligent and communication-based technologies for real-time operational control during ship operation.

The process of evaluating and predicting the performance and technical condition of ship heat-exchange units within the operational system—based on digital-twin technology—requires continuous refinement of information about the actual condition of these units. This includes the development of advanced methods and tools for assessing and forecasting performance parameters, as well as understanding the prospects for implementing such methods under changing operational conditions.

In this study, the object of investigation was the marine power plant of the oil/chemical tanker *Sti Fulham* (IMO 9688374, MMSI 538005400), designed for the transportation of oil and chemical products [5]. The ship's power plant includes a 6S50ME-B main engine. The examined heat-exchange units of the marine power plant were considered as part of the central cooling system of the main engine [6].

To prevent excessively high coolant temperatures in the main engine air cooler, the calculated temperature of the cooling water in the central cooling system must not exceed 36 °C. This corresponds to the highest temperature of seawater used as the cooling medium, which may reach +32 °C [5, 6].

According to manufacturer recommendations [5, 6], to maintain a stable cooling-water temperature at the inlet of the main engine air coolers, it is necessary to ensure the lowest possible coolant temperature in the central cooling system. This means that the temperature of the cooling water at the central regulating valve must be set at least 10 °C lower than the seawater temperature [5]. Thus, the temperature difference should not exceed +10 °C. At the same time, the manufacturer specifies a maximum coolant flow velocity of approximately 3.0 m/s for all cooling-system pipelines.

To implement the research functionality (1), the investigation was carried out in three sequentially interconnected stages using a mathematical model based on digital-twin technology. The purpose was to assess the capability of the plate heat exchanger in the central cooling system to maintain the operational parameters of the ship's main engine under complex (variable) operating conditions—specifically during transitions between different navigation zones (e.g., North Sea → United Arab Emirates, Persian Gulf). In such cases, the seawater temperature varies from +15 °C in winter to +36 °C in summer (Stage 1). At this stage, the limiting temperatures in the central cooling system and the influence of the structural characteristics of the ship's plate heat exchanger on its performance were evaluated (Stage 2). Additionally, the study examined possible fouling in the heat-exchanger zone and explored ways to maintain effective operation of the plate heat exchanger under potential contamination (Stage 3) [5, 6].

Figure 1 presents the approximating equations for each research scenario, enabling prediction of potential operating outcomes for the heat-exchange equipment. The results of the computational study show that an increase in seawater temperature

at the heat-exchanger inlet leads to significant consequences [3, 5, 6]. In particular, an increase in seawater temperature of only 3.5 °C results in a substantial rise in coolant flow consumption (Fig. 1).

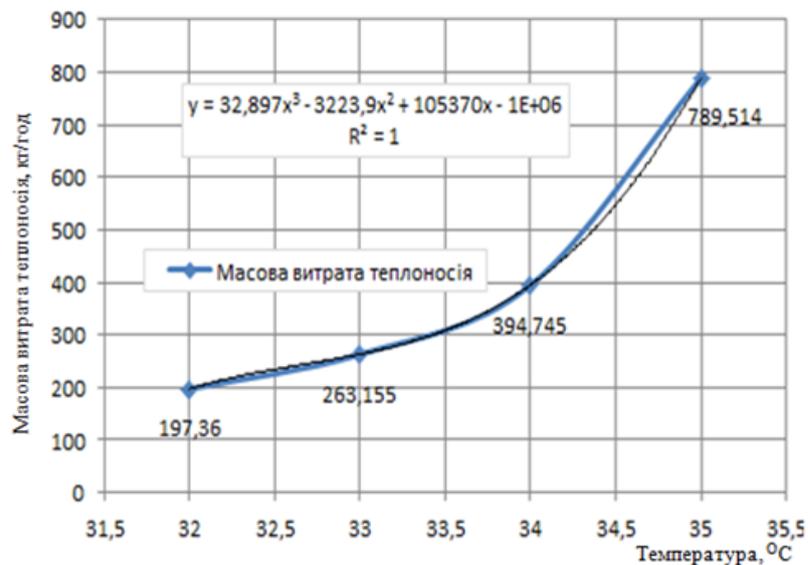


Fig. 1 – Results of the computational study of the ship plate heat exchanger in terms of changes in the mass flow rate of the coolant

Conclusion. The study substantiated the specific features of assessing the condition of marine heat-exchange equipment within the operational system based on the digital-twin technology of a cargo vessel and its marine power plant. An information system was developed to support the implementation of the research tasks, enabling further investigation through an aggregated model representing the digital twin of an intelligent operation-management system for the cargo ship and its power plant. The practical methods for constructing a digital twin aimed at representing the performance of the ship's heat-exchange units under real operating conditions were justified and validated.

- [1] Zohuri B. Compact Heat Exchangers: Selection, Application, Design and Evaluation. Switzerland: Springer International Publishing. 2017. 559 p. DOI: 10.1007/978-3-319-29835-1
- [2] Gritsuk, I., Mateichyk, V., Aleksandrov, V., Prilepsky, Y. et al., "Features of Modeling Thermal Development Processes of the Vehicle Engine Based on Phase-Transitional Thermal Accumulators," SAE Technical Paper 2019-01-0906, 2019, <https://doi.org/10.4271/2019-01-0906>.
- [3] Інноваційне теплообмінне обладнання [Текст] : монографія / І. О. Мікульонок. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 140 с.: іл. – Бібліогр.: с. 130–137.
- [4] Vychuzhanin, V., Rudnichenko, N., Shybaiev, D., Gritsuk, I. et al., "Cognitive Model of the Internal Combustion Engine," SAE Technical Paper 2018-01-1738, 2018, <https://doi.org/10.4271/2018-01-1738>.
- [5] STI FULHAM / <https://www.balticshipping.com/vessel/imo/9688374>.
- [5] MAN B&W S50ME-B9.3-TII. IMO Tier II. Project Guide. –2014 - 302с.

**РОЗРОБКА МОДУЛЬНИХ ПІДЗЕМНИХ СИСТЕМ  
ТЕПЛОАКУМУЛЮВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ПЛАВКИХ  
МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МІСЬКИХ  
ТЕПЛОМЕРЕЖ**

**DEVELOPMENT OF MODULAR UNDERGROUND THERMAL ENERGY  
STORAGE SYSTEMS USING PHASE CHANGE MATERIALS TO  
INCREASE THE EFFICIENCY OF URBAN DISTRICT HEATING  
NETWORKS**

*А.В. Онищенко*

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

*A.V. Onyshchenko*

*Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Вступ. Сучасна енергетична стратегія розвитку міських агломерацій вимагає докорінної модернізації систем централізованого тепlopостачання. Ключовою проблемою існуючих мереж є нерівномірність добового графіка теплового навантаження та значні втрати енергії при транспортуванні. Традиційні методи акумулювання тепла (водяні баки-акумулятори) є громіздкими та складними для інтеграції в ущільнену міську забудову. У цьому контексті актуальним є перехід до використання компактних підземних систем на основі фазоперехідних матеріалів (Phase Change Materials — PCM), які забезпечують значно вищу густину запасеної енергії порівняно з явним накопиченням тепла у воді [1].

Мета роботи. Обґрунтування технічних рішень та параметрів створення модульного прототипу підземного теплового акумулятора з використанням плавких теплоакумулюючих матеріалів (ТАМ) для роботи в діапазоні температур до 95°C [2].

Основна частина.

Ефективність запропонованої технології базується на використанні прихованої теплоти фазового переходу «тверде тіло – рідина». Цей фізичний процес дозволяє акумулювати значну кількість енергії у вузькому температурному інтервалі, забезпечуючи стабільність температури теплоносія на виході з акумулятора, що є критичним для стабільної роботи теплових пунктів [2].

Як робочу речовину (ТАМ) запропоновано використовувати неорганічні солі та їх гідрати (наприклад, гідроокис барію  $Ba(OH)_2 \cdot 8H_2O$  або евтектичні суміші на основі їдкового натру). Вибір цих матеріалів зумовлений їхніми термодинамічними властивостями, що відповідають робочим режимам міських мереж (температура плавлення в межах 70–95°C), та відносно низькою вартістю. Однак, широке впровадження таких ТАМ стримується двома

факторами: низькою теплопровідністю солей у твердому стані та їх корозійною активністю в розплаві [2, 4].

Для вирішення цих проблем у роботі розроблено концепцію модульного акумулятора типу «термос». Конструкція передбачає використання корпусу з високоякісної нержавіючої сталі з високоефективною теплоізоляцією для мінімізації теплових втрат у ґрунт. Внутрішній об'єм акумулятора організовано у вигляді капсульної матриці. Капсулювання ТАМ вирішує декілька інженерних задач:

1. Захист від корозії: Локалізація агресивного розплаву всередині капсули запобігає контакту з основними конструктивними елементами та теплообмінником.

2. Компенсація об'ємних змін: Використання гнучких оболонок капсул або наявність демпферного простору дозволяє нівелювати розширення матеріалу під час плавлення, запобігаючи механічному руйнуванню конструкції [6].

3. Інтенсифікація теплообміну: Матрична структура суттєво збільшує площу поверхні теплообміну. Для додаткового підвищення коефіцієнта тепловіддачі запропоновано інтеграцію турбулізаторів потоку теплоносія, що омиває капсули.

Важливим аспектом дослідження є забезпечення циклічної стабільності ТАМ. Матеріали повинні витримувати тисячі циклів плавлення-кристалізації без явища сегрегації (розшарування фаз) та переохолодження. Це досягається введенням нуклеаторів та загусників у склад ТАМ, що підтверджується лабораторними випробуваннями.

Впровадження підземних акумуляторів дозволить реалізувати концепцію розподіленого зберігання енергії. Це дасть змогу згладжувати пікові навантаження на котельні, зменшити діаметри трубопроводів при проектуванні нових мікрорайонів та збільшити ресурс теплогенеруючого обладнання за рахунок оптимізації режимів його роботи. Екологічний ефект полягає у зниженні споживання викопного палива та відповідному зменшенні викидів  $CO_2$  та  $NO_x$  [6].

Висновки.

Розроблена концепція підземного теплового акумулятора з плавким ТАМ є перспективним напрямком підвищення енергоефективності муніципальної енергетики. Поєднання високої енергоємності фазового переходу з надійною капсульною конструкцією дозволяє створити компактні, довговічні та безпечні системи зберігання тепла. Подальші дослідження мають бути зосереджені на експериментальній верифікації теплофізичних характеристик прототипу в натурних умовах.

[1] Моделирование фазовых переходов «Тверде тіло – Рідина» в системах акумуляції енергії. Наукові праці ОНТУ. 2020. № 2 (61). С. 136–141. URL: <https://journals.ontu.edu.ua/index.php/swonaft/article/view/1005> (дата звернення: 29.11.2025).

[2] Каграманян А. О., Онищенко А. В. Використання акумуляторів теплоти, як альтернативного джерела енергії при прогріві тепловозів. *Залізничний транспорт України*. 2011. № 1. С. 49–51.

[3] Найповніший аналіз підземного зберігання теплової енергії. Huntkey Energy Storage. URL: <https://www.huntkeyenergystorage.com/uk/underground-thermal-energy-storage/> (дата звернення: 29.11.2025).

- [4] Теплоакмулюючий матеріал: властивості та застосування. УДХТУ. URL: <https://udhtu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/04/teploakumulyuyuchyj-material.pdf> (дата звернення: 29.11.2025).
- [5] Принципи акумуляування теплової енергії: навчальний посібник. Електронний архів КПІ. Київ, 2018. 147 с. URL: <https://ela.kpi.ua/bitstreams/8fef759b-05da-49d2-81f7-0604882134b7/download> (дата звернення: 29.11.2025).
- [6] Накопичення енергії: сучасні тенденції. Вікіпедія: Наукові огляди. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Накопичення\\_енергії](https://uk.wikipedia.org/wiki/Накопичення_енергії) (дата звернення: 29.11.2025).

**УДК 629.056.6:621.313:004.8**

## **СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЗБІРКИ ТА ІНТЕГРАЦІЇ АКУМУЛЯТОРНИХ СИСТЕМ НОВОГО ПОКОЛІННЯ В ЕЛЕКТРОМОБІЛІ**

### **MODERN TECHNOLOGIES FOR ASSEMBLY AND INTEGRATION OF NEW-GENERATION BATTERY SYSTEMS IN ELECTRIC VEHICLES**

***В.Д. Латвинський, М.С. Каднай, Д.В. Демченко***

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет (м. Харків)*

***V.D. Latvynskiy, M.S. Kadnai, D.V. Demchenko***

*Kharkiv National Automobile and Highway University (Kharkiv)*

З поширенням електромобілів зростає потреба у безпечних, надійних і енергоефективних акумуляторних системах. Виробництво й складання високовольтних батарей потребує використання сучасних технологій, які забезпечують їхню довговічність, стабільність роботи та високу безпеку. Значного прогресу досягнуто завдяки впровадженню твердотільних акумуляторів та батарей на основі літій-залізо-фосфату ( $\text{LiFePO}_4$ ). Ще одним ключовим напрямом розвитку є створення систем, здатних змінювати робочі параметри акумуляторів залежно від умов експлуатації.

Твердотільні батареї вирізняються тим, що замість рідкого електроліту використовують твердий. Це значно підвищує рівень безпеки, зменшує ризик перегріву та короткого замикання, а також дає змогу збільшити запас ходу електромобіля. Сьогодні такі акумулятори активно тестуються на виробництвах Toyota та Volkswagen, які розглядають їх як перспективну технологію для покращення робочих характеристик електротранспорту [1].

Акумулятори  $\text{LiFePO}_4$  відомі своєю високою стабільністю, стійкістю до перегріву та низьким ризиком займання. Вони практично не потребують обслуговування, а за надійністю перевершують традиційні літій-іонні батареї. Завдяки цим перевагам  $\text{LiFePO}_4$ -батареї широко застосовуються у моделях китайських компаній, таких як BYD і Zeekr, забезпечуючи довготривалий ресурс та безпечну експлуатацію [2-3].

Окремим важливим напрямом є розвиток систем динамічної адаптації акумуляторів, які покликані підвищити ефективність роботи батарей і збільшити їхній термін служби, мінімізуючи вплив температури, режимів руху та інших зовнішніх факторів. Такі системи розробляються з використанням датчиків, технологій штучного інтелекту (ШІ) та інтернету речей (IoT).

До їхньої структури входять три ключові складові: збирання інформації, її аналіз та автоматичне коригування роботи акумулятора, а також інтеграція з системами керування автомобіля. Датчики фіксують температуру, рівень заряду, швидкість розрядження, режими прискорення і гальмування, а також враховують дорожню ситуацію та маршрут транспортного засобу.

Алгоритми ШІ у режимі реального часу аналізують отримані дані й коригують роботу батареї: перерозподіляють навантаження між осередками, оптимізують зарядження або активують охолодження. Наприклад, у холодну погоду система самостійно підігріває акумулятор для підтримання його ефективності, а під час довгого підйому чи у заторі змінює рівень енергоспоживання, щоб зменшити навантаження. Акумуляторний блок також координує свою роботу з електродвигунами, гальмівною системою та клімат-контролем автомобіля [4-5].

Динамічна адаптація акумуляторних систем є особливо важливою для транспортних засобів, що працюють в умовах екстремально низьких або високих температур. Завдяки таким технологіям електромобілі та гібридні автомобілі зможуть автоматично змінювати режим роботи батареї, запобігаючи втраті ємності та підвищуючи загальну надійність. Подібні системи будуть корисними також для таксі та комерційного транспорту: електровантажівки й електробуси отримають можливість ефективно перерозподіляти навантаження, зберігаючи стабільну продуктивність під час тривалих маршрутів та інтенсивної експлуатації.

Технології динамічної адаптації вже активно розробляють провідні виробники авто. Компанії BMW, Volkswagen, Tesla та Toyota впроваджують у свої моделі алгоритми, що регулюють споживання енергії залежно від стилю водіння, дорожніх умов, температури повітря та маршруту руху.

Запровадження систем динамічної адаптації акумуляторів є важливим кроком у розвитку електротранспортної галузі. Ці рішення підвищують гнучкість і стабільність роботи батарей, збільшують їхній термін служби та роблять електромобілі більш конкурентними. Поєднання адаптивних технологій із твердотілими та  $\text{LiFePO}_4$  -акумуляторами відкриває можливість створення нового покоління безпечних, енергоефективних і екологічно надійних автомобілів.

[1] Manthiram, A. (2020). A reflection on lithium-ion battery cathode chemistry (Article, Journal of Power Sources).

[2] Латвинський, В. Д., & Багач, Р. В. (2024). Дослідження літій-іонних батарей для експлуатації електромобілями при різних температурних умовах [Study of lithium-ion batteries for electric vehicle operation under different temperature conditions]. *Наукові праці ДонНТУ. Серія: «Електротехніка і енергетика»*, № 1 (30), 58–64. ISSN 2074-2630.

[3] Wang, J., Sun, X., Chen, Y., & Wang, H. (2021). Thermal stability and safety performance of  $\text{LiFePO}_4$  batteries under various conditions (Article, Electrochimica Acta).

[4] Zhang, C., Li, K., & Deng, J. (2019). Real-time battery monitoring and management using AI-based algorithms for electric vehicles (Article, IEEE Transactions on Industrial Electronics).

[5] Khajeh, M., Beaulieu, L. Y., & Golriz, M. R. (2022). State-of-the-art battery management systems with IoT and machine learning for electric vehicles: A review (Review article, Renewable & Sustainable Energy Reviews).

**ЗАСТОСУВАННЯ ЗАСОБІВ ТЕПЛОВІЗІЙНОГО КОНТРОЛЮ ДЛЯ  
ОЦІНКИ ТЕМПЕРАТУРНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТІВ ЛОКОМОТИВНОГО  
ГОСПОДАРСТВА**

**APPLICATION OF THERMAL VISION CONTROL EQUIPMENT TO  
ASSESS THE TEMPERATURE STATE OF LOCOMOTIVE FACILITIES**

*Докт. техн. наук В.Г. Пузир<sup>1</sup>, В.С. Мельник<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Український державний університет залізничного транспорту*

<sup>2</sup>*Заклад загальної середньої освіти "Лицей №1 м.Ковеля"*

*V.G. Puzyr<sup>1</sup>, D.Sc. (Tech), V.S. Melnyk<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

<sup>2</sup>*Institution of general secondary education "Lyceum №1, Kovel" (Kovel)*

Важливою запорукою надійного функціонування залізничного транспорту є дотримання технологічної дисципліни у локомотивному господарстві, яке потребує, в залежності від регіону, від 30 до 50 відсотків загальних фінансових витрат на енергоресурси для тяги поїздів та утримання інфраструктури. Це змушує вишукувати навіть незначні резерви у енергозаощадженні по різних об'єктах локомотивного господарства, які у фінансовому вираженні можуть давати суттєву економію.

З цією метою у рамках дослідження разом із закладом «Мала Академія Наук» Управління освіти виконавчого комітету Ковельської міської ради вивчалися можливості застосування спеціалізованих засобів тепловізійного контролю для оцінки температурних режимів функціонування різноманітних об'єктів локомотивного депо Ковель.

Слід зазначити, що депо має суттєвий досвід використання таких засобів. Ще у 90-х роках минулого сторіччя у технологічних процесах ремонту застосовувалися вітчизняні пірометри «Смотрич» Камянець-Подільського заводу. Вони дозволяли дистанційно вимірювати температуру нагріву у діапазонах 30-200 та 200-900 градусів Цельсію та, на той час, були досить прогресивними приладами. Звичайно, що з тих часів техніка вимірювань у інфрачервоному діапазоні значно вдосконалилася, стався перехід від точкового вимірювання до реєстрації температурних градієнтів у цілому по певному об'єкту.

На сьогодні фірми виробники пропонують широкий вибір тепловізорів, що відрізняються по технічних можливостях перш за все роздільною здатністю чутливого елемента та декількома іншими. Зрозуміло, що чим кращі параметри закладаються конструкторами таких приладів тим вищою є їх вартість. Для можливості застосування саме в умовах локомотивного депо авторами було запропоновано використовувати тепловізійні додатки до смартфонів, зокрема

тепловізійну камеру із роздільною здатністю 256x192 пікселі та температурним діапазоном від  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $550^{\circ}\text{C}$ .

Можливими сферами застосування є: контроль теплового стану окремих вузлів та агрегатів тепловозів під час їх стендових або реостатних випробувань (рис. 1); контроль теплових втрат по опалювальних магістралях депо (рис. 2); контроль теплових втрат по будівлях та спорудах депо (рис. 3). Можливі і інші точки застосування тепловізійного обладнання саме з такими параметрами роздільної здатності в умовах локомотивних депо.

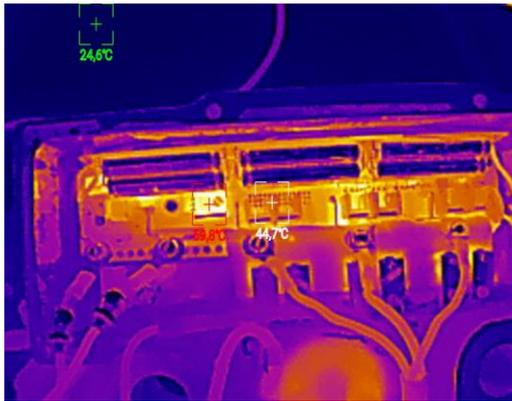


Рис. 1 - Нагрів елементів модуля електронного під час випробувань

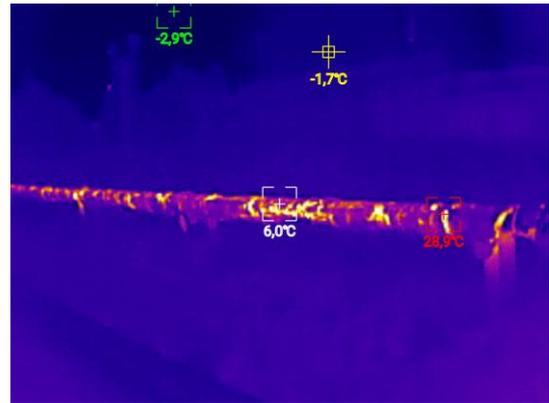


Рис. 2 - Теплотраса депо. Наочно видно місця пошкодження теплоізоляції



Рис. 3 - Будівля побутового корпусу депо у видимому та інфрачервоному спектрі. На четвертому поверсі вікна замінено на сучасні склопакети

Висновок: тепловізійні пристрої із навіть незначною роздільною здатністю можуть бути корисними у виробничих процесах як недорогі засоби оперативного контролю теплового стану об'єктів.

**ВАГОНИ: КОНСТРУЮВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ**

УДК 656.2:004.89

**НОВІ КОНСТРУКЦІЙНІ РІШЕННЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО РУХОМОГО  
СКЛАДУ НА ЕТАПАХ ЙОГО ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ**

**NEW DESIGN SOLUTIONS FOR RAILWAY ROLLING STOCK AT THE  
STAGES OF ITS LIFE CYCLE**

*к.т.н., Д. І. Скуріхін, д. т. н., А. О. Ловська,  
д. т. н., В. Г. Равлюк, к.т.н., А. В. Рибін*

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

*D. I. Skurikhin PhD (Tech), A. O. Lovska D. Sc. (Tech.),  
V. G. Ravlyuk D. Sc. (Tech.), A.V. Rybin PhD (Tech)  
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Сучасні цифрові технології активно впроваджуються для підтримки життєвого циклу залізничного рухомого складу. Виконано огляд таких технологій, зокрема MES-системи, телематика, цифрові двійники та системи прогнозування технічного стану. Показано, що ці інструменти забезпечують ефективний моніторинг і управління на всіх етапах життєвого циклу – від проєктування і виробництва до експлуатації та обслуговування [1]. Водночас основний акцент роботи зроблено на практичних результатах, яких вдалося досягти завдяки використанню цифрових технологій як засобу для вирішення інженерних задач.

На етапі проєктування виконано цифрове моделювання та міцнісний розрахунок конструкцій контейнерів і вагонів-платформ [2]. Оцінено напружено-деформований стан цих конструкцій під дією експлуатаційних навантажень; побудовано епюри розподілу напружень для різних варіантів каркасів. Це дозволило визначити критичні зони в елементах і перевірити запас міцності. За результатами аналізу запропоновано вдосконалені геометричні рішення, що зменшують концентрацію напружень і підвищують надійність. Зокрема, показано, що додавання підкріплюючих елементів (розкосів і горизонтальних поясів) у каркас контейнера знижує максимальні напруження приблизно на 7% порівняно з типовою конструкцією.

На етапі експлуатації досліджено можливості практичного удосконалення окремих елементів рухомого складу [3]. Зокрема, проаналізовано конструкцію гальмівної важільної передачі вантажних вагонів та виконано оптимізацію її елементів. Визначено силові навантаження, що діють у важільній системі, і виявлено ділянки підвищеного навантаження у з'єднаннях. На основі

результатів моделювання запропоновано модернізований варіант конструкції гальмової передачі шляхом конструктивних змін у триангелі. Нова конструкція є простішою, легшою (маса важелів зменшена приблизно на 15%) та забезпечує рівномірніший розподіл сил, що призводить до зменшення навантажень у з'єднаннях і зниження зношування. Удосконалення гальмової важільної передачі таким чином підвищує надійність і безпеку експлуатації вагонів.

[1] Skurikhin, D., Lovska, A., Ravlyuk, V., & RybinA. (2025). Digital technologies in the lifecycle management of railway rolling stock: analytical overview and development paths. *Transport Development*, (3(26)), 113-131. <https://doi.org/10.33082/td.2025.3-26.08>

[2] Ловська А. О., Павлюченков М. В., Равлюк В. Г., Скуріхін Д. І., Рибін А. В., Федоришин В. С. Дослідження повздовжньої навантаженості каркаса універсального контейнера удосконаленої конструкції // *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки.* – 2025. – Т. 36 (75), № 2, ч. 1. – С. 248–252. – DOI: 10.32782/2663-5941/2025.2.1/37.

[3] Ravlyuk, V. H., Lovska, A. O., Skurikhin, D. I., Rybin, A. V., & Ravlyuk, M. G. (2025). Дослідження впливу конструктивних параметрів гальмової системи вантажного вагона на безпеку експлуатації залізничного рухомого складу. *Рейковий рухомий склад*, (30), 56–74. <https://doi.org/10.47675/2304-6309-2025-30-56-74>

Дане дослідження проведено в рамках науково-дослідної роботи “Підвищення безпеки руху залізничного рухомого складу шляхом впровадження інтегрованих технологій підтримки життєвого циклу” (ДР 0125U001907), яка виконується за рахунок коштів державного бюджету України з 2025 р.

**УДК 629.463.027.27-048.35**

## **КОНТРОЛЬ НЕСПРАВНОСТЕЙ ЕЛЕКТРОПНЕВМАТИЧНОГО ГАЛЬМА ПАСАЖИРСЬКОГО ВАГОНА В ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

### **CONTROL OF MALFUNCTIONS OF THE ELECTROPNEUMATIC BRAKE OF A PASSENGER WAGON IN OPERATION**

*Д. т. н., В. Г. Равлюк, Я. В. Дерев'янчук, К.А Кардаш  
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

*V. G. Ravlyuk D. Sc. (Tech.), Ya. V. Derevianchuk, K. A. Kardash  
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Гальмова система пасажирського вагона є одним із ключових елементів забезпечення безпеки руху поїздів. У сучасних пасажирських вагонах використовуються пневматичні (ПГ) та електропневматичні (ЕПГ) гальма, які забезпечують швидке та синхронне спрацювання у складі поїзда. Проте під час експлуатації можливі відхилення у роботі ЕПГ, які знижують ефективність гальмування та можуть призводити до заклинювання колісних пар.

Для контролю технічного стану гальмової системи під час рейсу поїзда датчики реєструють такі параметри: тиск у гальмовому циліндрі (ГЦ)  $P_{ГЦ}$ , тиск у гальмовій магістралі  $P_{ГМ}$  і напругу на електроповітророзподільнику  $U_{ЕПГ}$ . Загальну блок-схему контролю роботи ПГ і ЕПГ пасажирського вагона наведено на рис. 1.

Сигнали з датчиків оцифровуються та аналізуються із застосуванням методів функціональної діагностики. На основі результатів аналізу сформовано звіт про технічний стан об'єкта, який передано на бортові та наземні пости

контролю [1].

Створено модель, яка відтворює роботу ЕПГ вагона за трьома циклами:

«Зарядка та попуск». За сигналу  $U_{ЕПГ} = \sim 50 \text{ В}$  у цьому режимі запасний резервуар  $P_{ЗР}$  та робоча камера  $P_{РК}$  повітродозподільника заряджаються від гальмової магістралі, а ГЦ в цей час з'єднується з атмосферою. Час зарядження резервуара ( $0,5 \rightarrow 0,55 \text{ МПа}$ ) становить 20 с, що відповідає нормативам [2].

«Гальмування». За такого керуючого сигналу  $U_{ЕПГ} = +50 \text{ В}$  запасний резервуар з'єднується з ГЦ через пневмореле, що забезпечує підвищення тиску до 0,4 МПа за 2,5 с, що також відповідає [2].

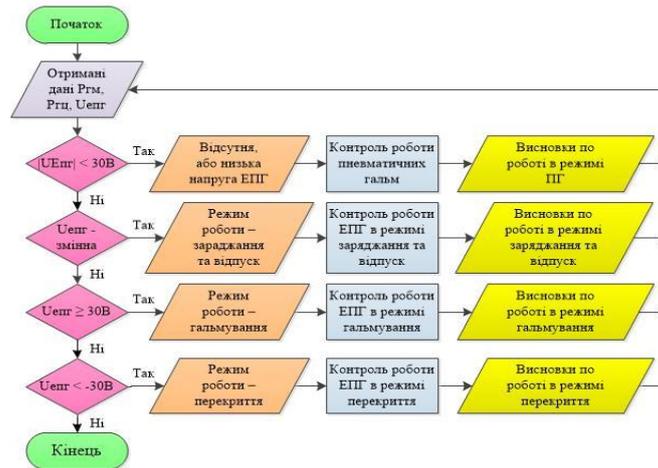


Рис. 1. Блок-схема системи контролю роботи ПГ і ЕПГ пасажирського вагона

«Перекриття». За сигналу  $U_{ЕПГ} = -50 \text{ В}$  тиск у ГЦ підтримується постійним із допустимими втратами не більше 0,02 МПа за 1 хв.

Діаграми роботи гальмової системи пасажирського вагона під час ступеневого гальмування та ступеневого попуску наведено на рис. 2 (під значенням напруги ЕПГ «0» мається на увазі значення « $\sim 50 \text{ В}$ »).

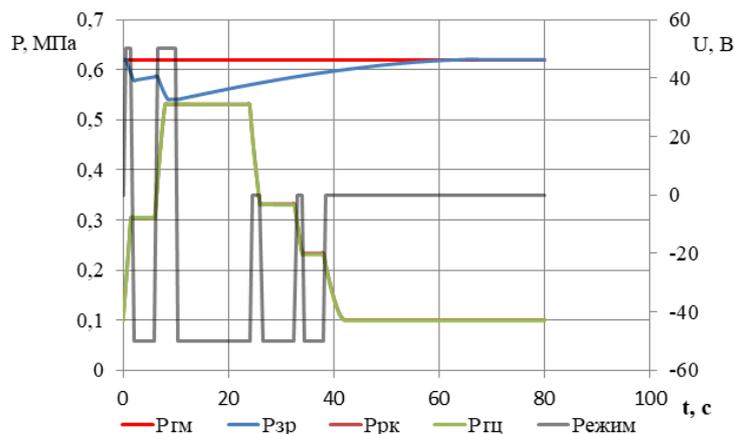


Рис. 2. Діаграма роботи ЕПГ при ступеневому гальмуванні пасажирського вагона

Розроблено алгоритм дистанційного контролю технічного стану ЕПГ пасажирського вагона з застосуванням датчиків тиску та напруги. Моделювання виконано ітераційним методом із використанням табличного процесора Microsoft Excel. Отримано результати, що підтверджують доцільність упровадження системи функціональної діагностики ЕПГ у реальних умовах експлуатації для підвищення надійності та безпеки руху поїздів.

[1] Ravluyk V., Derevianchuk I., Afanasenko I., Ravluyk N. Development of electronic diagnostic system for improving the diagnosis reliability of passenger car brakes. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016. 2(9(80)). P. 35–41. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.66007>

[2] Інструкція з експлуатації гальм рухомого складу на залізницях України: ЦТ-ЦВ-ЦЛ-0015: Затв. нак. Укрзалізниці від 28.10.1997. № 264-Ц. Київ: 2004. 146 с.

**УДК 629.463.62**

## **ВИЗНАЧЕННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ УНІВЕРСАЛЬНОГО ВАГОНА-ПЛАТФОРМИ ДО ПЕРЕВЕЗЕНЬ ДОВГОМІРНИХ ВАНТАЖІВ**

### **DETERMINING THE INTEGRITY OF THE MODERNIZATION OF A UNIVERSAL FLAT WAGON FOR THE TRANSPORTATION OF LONG-LENGTH LOADS**

*Д.т.н, А. О. Ловська<sup>1</sup>, к.т.н., М. В. Павлюченко<sup>2</sup>,  
Др. філософії, Я. Діжо<sup>3</sup>, Др. філософії, М. Блатницький<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>*Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

<sup>2</sup>*Харківський національний університет міського господарства імені  
О. М. Бекетова (м. Харків)*

<sup>3</sup>*Жилінський університет (м. Жиліна)*

*A. O. Lovska<sup>1</sup> D. Sc. (Tech.), M. Pavliuchenkov<sup>2</sup> PhD (Tech),  
J. Dižo<sup>3</sup> PhD (Tech), M. Blatnický<sup>3</sup> PhD (Tech)*

<sup>1</sup>*Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

<sup>2</sup>*O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv (Kharkiv)*

<sup>3</sup>*University of Zilina (Zilina)*

Залізничний транспорт є провідною галуззю народного господарства від ефективності роботи якої залежить економічний розвиток багатьох європейських країн. Наразі залізницею перевозиться досить широка номенклатура вантажів. Одним із таких вантажів є довгомірні: ліс у хлистах, будівельні матеріали, труби тощо. Перевезення довгомірних вантажів залізницею здійснюється на спеціалізованих вагонах-платформах, які обладнані вертикальними стійками для утримання вантажів від перекидання. Разом із цим чисельність таких вагонів є обмеженою та не забезпечує повною мірою попиту на перевезення довгомірних вантажів залізницею [1 – 3]. Це обумовило використання інших типів вагонів під такі перевезення: універсальні вагони-платформи чи напіввагони [4].

Для перевезень довгомірних вантажів на універсальних вагонах-платформах на їх повздовжніх балках встановлюються дерев'яні стійки. Ці стійки кріпляться в скобах, які приварені до вертикальних частин двотаврів, що утворюють повздовжні балки рами. Треба сказати, що в умовах експлуатаційних навантажень дерев'яні стійки можуть мати пошкодження. Це сприяє розвалюванню вантажу та може призвести до порушення безпеки його перевезень. Така обставина зумовлює необхідність модернізації вагонів-платформ до перевезень довгомірних вантажів.

Для можливості перевезень довгомірних вантажів на універсальному вагоні-платформі пропонується модернізація його конструкції, яка полягає у використанні надбудов для утримання вантажу від перекидання.

З метою визначення найбільш раціонального варіанту виконання надбудов проведено розрахунок несучої конструкції вагона-платформи. Метою даного розрахунку було визначення внутрішніх силових факторів, що діють в надбудовах, при сприйнятті зовнішніх навантажень. Розрахунок несучої конструкції вагона-платформи проведено як стрижневої системи. При цьому застосовано програмний комплекс "Ліра – САПР". Встановлено, що найбільш раціональним варіантом конструкції є застосування стійок, сполучених затяжками. При цьому з боку навантаження стійок значення згинального моменту склало  $55,3 \text{ кН} \cdot \text{м}$ , з протилежного боку чисельне значення згинального моменту є від'ємним. З урахуванням визначеного згинального моменту за моментом опору поперечного перерізу підібрано параметри профілю виконання вертикальної стійки: ширина робочої частини стійки – 110 мм, висота – 140 мм, товщина стінки – 10 мм. При цьому  $W=178 \text{ см}^3$ . Маса однієї стійки складає 99 кг. Тара вагона-платформи з урахуванням запропонованої модернізації збільшиться на 1,5 т. Але з урахуванням подальшої оптимізації, яку планується робити на послідуєчих етапах досліджень, прогнозується зменшення маси стійки у порівнянні із першепочатковою.

Проведено розрахунок на міцність модернізованої несучої конструкції вагона-платформи. Встановлено, що максимальні напруження в несучій конструкції вагона-платформи склали 187,4 МПа та не перевищують допустимі [5]. Ці напруження виникають у з'єднувальних балках, які сполучають повздовжні балки між собою. Максимальні переміщення виникають у верхніх частинах вертикальних стійок, розміщених за центром повздовжньої балки і складають 2,4 мм.

Недолік даного дослідження полягає у тому, що авторами досліджено лише поперечну навантаженість удосконаленої конструкції вагона-платформи. Але це є і подальшим розвитком даного дослідження. Тобто в подальших працях авторами буде розвинуто ці питання. Також у подальшому планується оптимізація вертикальних стійок за критерієм мінімуму матеріалоемності.

Результати проведених досліджень сприятимуть підвищенню ефективності перевезень довгомірних вантажів залізничним транспортом шляхом залучення універсальних вагонів-платформ.

- [1] Valeri Stoilov, Svetoslav Slavchev, Vladislav Maznichki Sanel Purgic. Method for Theoretical Assessment of Safety against Derailment of New Freight Wagons. Applied Sciences. 2023. Vol. 13. 12698. <https://doi.org/10.3390/app132312698>
- [2] Apurba Das, Gopal Agarwal. Compression, tension & lifting stability on a meter gauge flat Wagon: an experimental approach. Australian Journal of Mechanical Engineering. June. 2020. <https://doi.org/10.1080/14484846.2020.1775007>
- [3] Gerlici J., Lovska A., Kozáková K. Research into the Longitudinal Loading of an Improved Load-Bearing Structure of a Flat Car for Container Transportation. Designs. 2025. Vol. 9(1) 12. <https://doi.org/10.3390/designs9010012>
- [4] Gerlici J., Lovska A., Vatulia G., Pavliuchenkov M., Kravchenko O., Solcansky S. Situational adaptation of the open wagon body to container transportation. Applied Sciences. 2023. Vol. 13(15), 8605. <https://doi.org/10.3390/app13158605>
- [5] ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). Київ, 2015. 162 с.
- [1] Kramer, V., et al. Integration of Component Deviations in the Computation of Fatigue Life and Dynamic Behavior of Cylindrical Roller Bearing Arrangements\*. Forschung im Ingenieurwesen, 2024. [SpringerLink](<https://link.springer.com/article/10.1007/s10010-024-00749-z>)
- [2] Gerdun, V. Failures of bearings and axles in railway freight wagons / V. Gerdun, T. Sedmak, V. Sinkovec, I. Kovse, B. Cene // Engineering Failure Analysis. – 2007. – Vol. 14(5). – P. 884-894.
- [3] Ji, Y., et al. Detection Method for Contact Stress Distribution of Tapered Roller Bearings. Sensors, 2024. [PubMed Central] (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11076488/>)
- [4] Кладько, Н. С. Підвищення ресурсу циліндричних підшипників букси вантажного вагона. Техніка і технології. Серія «Транспортні системи і технології», ДУІТ, № 32(1), 2018. [DUIT Journal (PDF)](<https://tst.duit.in.ua/index.php/tst/article/download/113/99/418>)

**УДК 620.18:620.3:681.5**

## **МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОНТРОЛЮ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ НАНОСТРУКТУРОВАНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

### **METROLOGICAL SUPPORT FOR THE CONTROL OF FUNCTIONAL PARAMETERS OF NANOSTRUCTURED MATERIALS FOR INTELLIGENT TRANSPORT TECHNOLOGIES**

*д-р техн. наук Е. С. Геворкян, канд. техн. наук В. П. Нерубацький, канд. техн. наук Г. Л. Комарова, канд. техн. наук Л. В. Волошина, здобувачка вищої освіти А. І. Сухорученкова*  
*Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

*D. Sc. E. S. Hevorkian, Cand. of Eng. Sci. V. P. Nerubatskyi, Cand. of Eng. Sci. H. L. Komarova, Cand. of Eng. Sci. L. V. Voloshyna, student A. I. Sukhoruchenkova*  
*Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Сучасний розвиток транспортної галузі вимагає від інтелектуальних транспортних систем підвищеної точності та надійності вимірювань у складних умовах. Це призводить до створення нового покоління матеріалів, які поєднують високу термомеханічну міцність зі стабільністю метрологічних параметрів сенсорів. Ключовим рішенням є застосування наноструктурованих

композитів, які забезпечують структурну міцність і незмінність вимірювальних характеристик під впливом зовнішніх факторів.

Для розробки нанокompозитів для вимірювальних систем транспорту застосовуються прогресивні методи: механохімічний синтез, електроконсолідація та низькотемпературне структуроутворення з органо-неорганічними прекурсорами. Такий підхід дозволяє формувати контрольовану мікроструктуру, де взаємодія фаз відбувається на нанорівні, забезпечуючи високу відтворюваність властивостей та метрологічну стабільність сенсорних елементів. Перспективними є композити на основі карбіду кремнію (SiC), діоксиду цирконію ( $ZrO_2$ ) та карбіду вольфраму (WC), які мають високу твердість і стабільність при термоцикуванні. Завдяки використанню органо-неорганічного комплексу, SiC утворюється при значно нижчих температурах (1200–1400 °C) порівняно з традиційним спіканням. Утворення стабільної нанофазної сітки SiC виступає демпфером напружень, підвищуючи точність відтворення розмірних параметрів [1, 2]. Дослідження також засвідчили, що додавання частково стабілізованого  $ZrO_2$  з WC підвищує мікротвердість та міцність, а рівномірний фазовий розподіл без склоподібних прошарків є ключовою передумовою для високої метрологічної стабільності матеріалів [3, 4].

Для оцінювання стабільності параметрів композити піддавалися багаторазовим термоциклам і механічним навантаженням. Встановлено, що відхилення модуля пружності не перевищувало 2 % навіть після сотень циклів нагрівання й охолодження, а теплопровідність залишалася сталою. Така стійкість мікроструктурного стану безпосередньо забезпечує повторюваність метрологічних результатів, що для сенсорів у транспортних системах є вкрай важливим [5]. Ця стабільність дозволяє коректно функціонувати системам штучного інтелекту, які обробляють вимірювальні дані.

Інтелектуальні транспортні технології передбачають інтеграцію багаторівневих систем збору й обробки даних. Зважаючи на це, матеріали з передбачуваними фізико-хімічними характеристиками відіграють роль первинного елемента забезпечення достовірності інформації. Нанокompозити з прогнозованою структурою дозволяють реалізувати сенсори, здатні до самокалібрування, мінімізувати вплив температурних і механічних шумів, а також зберігати стабільність калібрувальних коефіцієнтів упродовж тривалого часу. Таким чином, нове покоління матеріалів стає не просто пасивною частиною вимірювальної системи, а активним елементом, який формує метрологічну якість усієї транспортної технології.

У порівнянні з традиційними матеріалами, наноструктуровані композити демонструють унікальну метрологічну стабільність при багаторазовому механічному навантаженні. Ця властивість пояснюється наявністю стабільної нанофазної структури, що забезпечує відтворюваність показань сенсорів упродовж тривалого терміну експлуатації. Отримані матеріали придатні для використання у транспортних системах нового покоління (моніторинг рухомого складу, контроль навантажень і температур буксових вузлів), де вони

виконують окрім механічної функції, ще й інформаційну, тим самим забезпечуючи стабільну метрологічну основу для цифрових систем контролю.

Впровадження наноструктурованих матеріалів у метрологічне забезпечення транспортних систем формує новий етап розвитку інтелектуальних вимірвальних технологій. Розроблені композити на основі діоксиду цирконію, карбиду кремнію та карбиду вольфраму, отримані методом електроконсолідації, поєднують структурну стабільність із можливістю довготривалого збереження калібрувальних властивостей. Їх застосування забезпечує підвищення точності систем моніторингу та збільшення ресурсу сенсорних вузлів. Це дозволяє створювати високоточні, стабільні та енергоефективні системи, де матеріал стає активним учасником процесу контролю й управління транспортними процесами.

[1] Nerubatskyi V. P., Vovk R. V., Gzik-Szumiata M., Gevorkyan E. S. Investigation of the effect of silicon carbide nanoadditives on the structure and properties of microfine corundum during electroconsolidation. *Low Temperature Physics*. 2023. Vol. 49, No. 4. P. 540–546. DOI: 10.1063/10.0017596.

[2] Gevorkyan E. S., Nerubatskyi V. P., Vovk R. V., Morozova O. M., Chyshkala V. O., Gutsalenko Yu. G. Revealing thermomechanical properties of  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-C-SiC}$  composites at sintering. *Functional Materials*. 2022. Vol. 29, No. 2. P. 193–201. DOI: 10.15407/fm29.02.193.

[3] Hevorkian E., Samociuk W., Rucki M., Krzysiak Z., Pieniak D., Nerubatskyi V., Chyshkala V., Lytovchenko S., Chalko L., Morozow D., Caban J., Kulich V. Microstructure and properties of binderless  $\mu\text{WC}$  obtained using the electroconsolidation method. *Materials*. 2025. Vol. 18, Iss. 20. 4646. DOI: 10.3390/ma18204646.

[4] Nerubatskyi V. P., Vovk R. V., Gevorkyan E. S., Hordiienko D. A., Nazyrov Z. F., Komarova H. L. Investigation of phase and structural states in nanocrystalline powders based on zirconium dioxide. *Low Temperature Physics*. 2023. Vol. 49, No. 11. P. 1277–1282. DOI: 10.1063/10.0021374.

[5] Gevorkyan E., Mamalis A., Vovk R., Semiatkowski Z., Morozow D., Nerubatskyi V., Morozova O. Special features of manufacturing cutting inserts from nanocomposite material  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiC}$ . *Journal of Instrumentation*. 2021. Vol. 16, No. 10. P10015. DOI: 10.1088/1748-0221/16/10/P10015.

**УДК 629.4.027**

## **АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ НАВАНТАЖЕННЯ БУКСОВИХ ВУЗЛІВ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ**

### **ANALYSIS OF THE LOADING FEATURES OF FREIGHT WAGON AXELE BOXES**

*д.т.н. І. Е. Мартинов<sup>1</sup>, к. т. н. В. О. Шовкун<sup>1</sup>,  
асп. О. М. Литовченко<sup>1</sup>, маг. В. В. Коваленко<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

*I. E. Martynov<sup>1</sup> D. Sc. (Tech.), V. O. Shovkun<sup>1</sup> PhD (Tech),  
O. M. Lytovchenko<sup>1</sup>, graduate student (Tech),  
V. V. Kovalenko<sup>1</sup> undergraduate student (Tech)*

<sup>1</sup>*Ukrainian state university of railway transport (Kharkiv)*

Буксовий вузол є елементом колісної пари вагона і являє собою складну механічну систему, яка виконує критично важливу функцію у забезпеченні надійності та безпеки руху залізничного транспорту. При проходженні колісною парою нерівностей верхньої будови колії на буксовий вузол від

кузова вагона діють як вертикальні, так і горизонтальні навантаження. Вони мають динамічний характер та супроводжуються значними ударними імпульсами (особливо при високих швидкостях руху, наявності дефектів на поверхні кочення коліс або під час проходження стрілочних переводів).

Передача зовнішніх навантажень на буксовий вузол від кузова вантажного вагона здійснюється через елементи візка вагону (бокову раму та надресорну балку). При цьому схема обпирання повинна забезпечувати рівномірний розподіл навантаження між усіма роликами підшипника в зоні навантаження. При цьому буде забезпечена максимальна довговічність підшипників.

Нерівномірність цього розподілу призводить до перевантаження окремих роликів, що суттєво знижує ресурс підшипникового вузла, збільшує ризик виникнення аварійних ситуацій та зростання експлуатаційних витрат.

Проте в умовах експлуатації нерівномірність розподілу навантажень є досить поширеним явищем, що зумовлює передчасний знос окремих елементів, підвищення температури, появу локальних перевантажень та зниження ресурсу буксового підшипникового вузла в цілому.

Основними чинниками, що зумовлюють нерівномірність навантаження є:

- конструктивні особливості корпусу букси – геометричні похибки у виконанні посадочних місць під підшипники, недостатня жорсткість або деформації під дією навантажень [1];
- відхилення при ремонті та виготовленні підшипників – різниця у довжині та діаметрі роликів, а також похибки у профілюванні доріжок кочення створюють нерівномірний контакт [2];
- експлуатаційні фактори – зношування елементів підшипника, корозія, механічні пошкодження та забруднення мастильного матеріалу змінюють умови контакту [3];
- деформації буксового вузла в експлуатації – вплив вертикальних, бічних і динамічних ударних навантажень призводить до мікропереміщень і перекосів [4].

Одним з перспективних напрямків підвищення довговічності буксових підшипників є вирівнювання розподілення навантаження між роликами підшипника шляхом модернізації корпусу буксового вузла: введення додаткових ребр жорсткості та оптимізація геометрії посадочних місць підшипників. При цьому буде забезпечена висока довговічність, сумісність із існуючими конструкціями, відсутність потреби у дорогих нових комплектуючих. А до недоліків необхідно віднести неможливість повністю усунути вплив деформацій осі та динамічних чинників.

Іншим напрямком є використання полімерних вставок в конструкції корпусу буксового вузла. Між рамою візка та корпусом букси встановлюється пружна полімерна вставка, яка забезпечує більш рівномірний розподіл навантаження, часткове демпфування ударів та зменшення концентрації зусиль на окремих роликах). Це забезпечує більш рівномірне розподілення навантаження, зменшення динамічних ударів, підвищення ресурсу підшипників. Недоліками є висока вартість комплекту, необхідність адаптації конструкції корпусу, обмежений термін служби полімерних елементів у порівнянні з металом.

**ОПТИМІЗАЦІЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАСОБІВ  
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ЗА РАХУНОК ВПРОВАДЖЕННЯ  
НАНОКОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ ДІОКСИДУ  
ЦИРКОНІЮ**

**OPTIMIZATION OF THE OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF  
RAILWAY TRANSPORT VEHICLES THROUGH THE INTRODUCTION  
OF NANOCOMPOSITION MATERIALS BASED ON ZIRCONIUM  
DIOXIDE**

*д-р техн. наук Е. С. Геворкян, канд. техн. наук В. П. Нерубацький,  
канд. техн. наук А. О. Каграманян, канд. техн. наук Г. Л. Комарова,  
канд. техн. наук Л. В. Волошина*  
*Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

*D. Sc. E. S. Hevorkian, Cand. of Eng. Sci. V. P. Nerubatskyi,  
Cand. of Eng. Sci. A. O. Kagramanian, Cand. of Eng. Sci. H. L. Komarova,  
Cand. of Eng. Sci. L. V. Voloshyna*  
*Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Ефективність та безпека експлуатації засобів залізничного транспорту критично залежать від надійності ключових функціональних вузлів, які піддаються інтенсивному фрикційному зносу, високим термічним і динамічним навантаженням. До таких елементів належать деталі гальмівних систем, елементи тертя у візках та інші вузли, що зазнають значних впливів. Оскільки традиційні конструкційні матеріали мають обмежений ресурс роботи в таких умовах, впровадження інноваційних рішень у рейковий рухомий склад вважається пріоритетом. Так, перспективним є використання наноструктурованої кераміки на основі діоксиду цирконію, частково стабілізованого оксидом ітрію [1]. Високі експлуатаційні властивості діоксиду цирконію пов'язані з унікальним механізмом трансформаційного зміцнення – фазового перетворення, що ініціюється напруженнями навколо вершини тріщини та забезпечує високу тріщиностійкість. Цей механізм є критично важливим для компонентів, що працюють в умовах циклічних і динамічних навантажень.

Для отримання композитів із максимальною щільністю та збереженою наноструктурою використовувався інноваційний метод електроконсолідації (гарячого вакуумного пресування з прямим пропусканням електричного струму). Ця прогресивна технологія дозволяє проводити консолідацію при значно нижчих температурах та за коротший час, інтенсифікуючи

зернограничну дифузію та мінімізуючи аномальне зростання кристалітів. Це дозволяє зберегти наноструктуру, забезпечуючи максимальну реалізацію потенціалу матеріалу. Матриця діоксиду цирконію була модифікована нанодисперсними зміцнюючими добавками: оксидом алюмінію ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), монокарбідом вольфраму ( $\text{WC}$ ) та карбідом кремнію ( $\text{SiC}$ ). Ці компоненти були обрані завдяки їхній високій твердості та здатності забезпечувати ефект дисперсійного зміцнення керамічної матриці.

Аналіз мікроструктури та властивостей підтвердив, що процес електроконсолідації дозволив отримати зразки з високою відносною щільністю (понад 98 %), що виступає ключовою передумовою для досягнення граничного рівня міцності. Рентгенофазовий аналіз засвідчив, що додавання  $\text{Al}_2\text{O}_3$  має стабілізуючий ефект на тетрагональну фазу діоксиду цирконію ( $\text{ZrO}_2$ ), що є ключовим для збереження механізму трансформаційного зміцнення. Композиційна система  $\text{ZrO}_2\text{--Al}_2\text{O}_3$  продемонструвала один із найкращих комплексів фізико-механічних властивостей [2]. Водночас, нанодобавки карбідів ( $\text{WC}$  та  $\text{SiC}$ ) забезпечили суттєве підвищення мікротвердості матеріалу. Композити, зміцнені наночастинками  $\text{WC}$ , продемонстрували високі трибологічні характеристики, перспективні для використання у вузлах тертя візків та інших рухомих частинах. Отримані наноконструкційні матеріали можуть бути застосовані як основа для розробки функціонально-градієнтних матеріалів, властивості яких плавно змінюються від поверхні до основи. Така конструкція дає змогу поєднати високу твердість і зносостійкість на робочій поверхні (наприклад, шари з карбідами) з високою в'язкістю в основі, забезпечуючи оптимальний баланс між опором до зносу та крихкого руйнування, що є критично важливим для збільшення операційного ресурсу рухомого складу залізниць.

Таким чином, технологія електроконсолідації вирізняється високою продуктивністю та забезпечує отримання високощільних  $\text{ZrO}_2$ -наноконструкцій із збереженням дрібнозернистої структури, яка є ключовою умовою досягнення високих міцнісних характеристик. Нанодобавки  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{WC}$  та  $\text{SiC}$  виступають ефективними модифікаторами, які забезпечують дисперсійне зміцнення матриці  $\text{ZrO}_2$  та сприяють цілеспрямованому утриманню тетрагональної фази, що є основою механізму трансформаційного зміцнення. Отримані композиційні матеріали, що характеризуються високими показниками мікротвердості та тріщиностійкості, мають високий потенціал для розробки функціонально-градієнтних матеріалів, які можуть бути використані як зносостійкі та термостійкі елементи у конструкціях механічної частини рухомого складу (візки, гальмові системи тощо). Подальші дослідження будуть спрямовані на оптимізацію фазового складу та профілю градієнта властивостей функціонально-градієнтних матеріалів для забезпечення максимального міжремонтного ресурсу компонентів, що відповідає завданням секції «Вагони: конструювання та експлуатація».

[1] Hevorkian E. S., Rucki M., Vovk R. V., Nerubatskyi V. P., Pieniak D., Chyshkala V. O. Comparative qualitative analysis of hot pressing of zirconium dioxide nanopowders. *Functional Materials*. 2025. Vol. 32, No. 1. P. 134–145. DOI: 10.15407/fm32.01.134.

[2] Hevorkian E. S., Morozova O. M., Nerubatskyi V. P., Chyshkala V. O., Sofronov D. S., Moya S., Abarrategi A., Arnaiz B., Bondarenko M. A., Vovk R. V. Composite material based on zirconium dioxide partially stabilised with cerium oxide and aluminium oxide for bioengineering applications. *Functional Materials*. 2024. Vol. 31, No. 3. P. 351–358. DOI: 10.15407/fm31.03.351.

УДК 629.423.2

## ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕКТРОПОЇЗДІВ ПІСЛЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ

## DYNAMIC CHARACTERISTICS OF ELECTRIC TRAINS AFTER MODERNIZATION

*В.А. Пархомчук<sup>1</sup>, С.В. Сиваківський<sup>1</sup>, докт. техн. наук С.Ю. Сапронова<sup>1</sup>*  
<sup>1</sup> *Національний транспортний університет (м. Київ)*

*V.A. Parkhomchuk<sup>1</sup>, S.V. Sivakivskyi<sup>1</sup>, D. Sc (Tech) S.Yu. Sapronova<sup>1</sup>*  
<sup>1</sup> *National Transport University (Kyiv)*

На даний час в АТ «Укрзалізниця» знаходяться на простоюванні без експлуатації електропоїзди, які були виготовлені ще на початку 2000-х років в Луганську. Деякі з них (ЕПЛ2Т (рис. 1), ЕПЛ9Т) пройшли модернізацію і капітальний ремонт обсягу КР-1, КР-2 і вже експлуатуються на приміських напрямках зі швидкостями руху до 120 км/год.



Рис. 1. Модернізований електропоїзд ЕПЛ2Т

Можливість експлуатації електропоїзду з більшими швидкостями передбачає отримання розрахункових характеристик горизонтальної поперечної динаміки, вибір раціональних параметрів зав'язків елементів екіпажів для покращення показників горизонтальної динаміки. Тобто, існує необхідність розробки математичної моделі руху електропоїзда ЕПЛ2Т в прямих ділянках колії.

Горизонтальний поперечний вплив на колію і динамічні якості електропоїзда будемо оцінювати за рівнем бокових, напрямних і рамних

сил [2].

Узагальнені сили, які діють в напрямку поперечних переміщень колісних пар -  $y_{(km)}$  (рис. 2), представляють собою суму поперечних складових контактних сил зчеплення -  $S_{(Ijkm)y}$  (I контакт), тертя -  $S_{(IIjkm)y}$  (II контакт) і поперечних складових контактних сил спирання -  $U_{(ijkm)}$ :

$$Q(y_{(km)}) = \sum_{j=1}^2 \sum_{i=I}^{II} (S_{(ijkm)y}^* + U_{(ijkm)}). \quad (1)$$

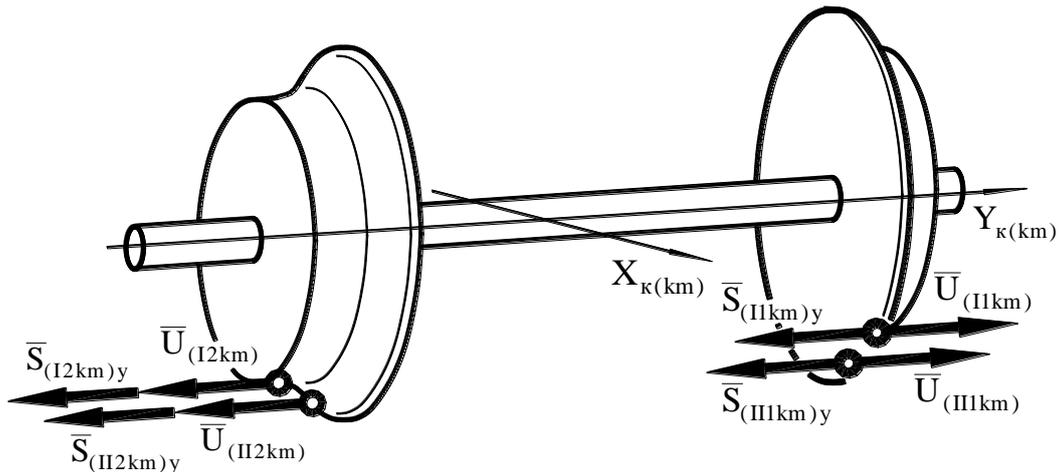


Рис. 2. Схема узагальнених сил, які діють на колісні пари по координатах  $y_{(km)}$

Поперечне по відношенню до осі колії зусилля, яке передається гребню колеса від рейки - напрямне зусилля  $\bar{Y}_{(jkm)}$ , складається з поперечної складової нормальної реакції в II контакті  $\bar{U}_{(IIjkm)}$  і поперечної сили зчеплення в II контакті  $\bar{S}_{(IIjkm)y}$  (рис. 2):

$$\bar{Y}_{(jkm)} = \bar{U}_{(IIjkm)} + \bar{S}_{(IIjkm)y}. \quad (2)$$

Сумарна реакція колеса на рейку - бокова сила  $\bar{Y}_{\delta(jkm)}$  - складається з напрямного зусилля  $\bar{Y}_{(jkm)}$  і поперечної сили  $\bar{Y}_{f(jkm)}$ , яка діє в I контакті:

$$\bar{Y}_{\delta(jkm)} = \bar{Y}_{(jkm)} + \bar{Y}_{f(jkm)}, \quad (3)$$

де  $\bar{Y}_{f(jkm)} = \bar{U}_{(Ijkm)} + \bar{S}_{(Ijkm)y}$ .

Рамну силу будемо визначати:

$$\bar{H}_{(km)} = \sum_{j=1}^2 \sum_{i=I}^{II} (\bar{U}_{(ijkm)} + \bar{S}_{(ijkm)}). \quad (4)$$

Модель дозволяє зробити порівняльну оцінку рівня горизонтальних поперечних динамічних сил для різних конструктивних варіантів електропоїздів в режимах вибігу, тяги або гальмування.

[1] Укрзалізниця модернізувала ще один електропоїзд. *Укрзалізниця*. – 11.07.2024. – URL. : <https://www.uz.gov.ua/press-center/up-to-date-topic/page-5/633853/> (режим доступу 30.11.2025 р.).

[2] Ткаченко В., Сапронова С., Брайковська Н., Твердомед В. Динамічна взаємодія рухомого складу і колії на лініях швидкісного руху суміщеного з вантажним // *Publishing House «European Scientific Platform»*. – 2021. URL.: <https://doi.org/10.36074/dvrsklshrsv-monograph.2021>

[3] Сапронова С., Ткаченко В., Брайковська Н., Зуб Є. Науковий підхід до методів збільшення життєвого циклу колісних пар рухомого складу залізниць. *Транспортні системи і технології*, 2021. – №(38). – С. 164–172. URL.: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2021-38-161-15>.

**УДК 006.3/8:629.4**

**АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ГАРМОНІЗОВАНИХ ЄВРОПЕЙСЬКИХ ТА РЕГІОНАЛЬНИХ СТАНДАРТІВ, ПРИЙНЯТИХ ЯК НАЦІОНАЛЬНІ, У СФЕРІ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

**CURRENT ISSUES OF THE APPLICATION OF HARMONIZED EUROPEAN AND REGIONAL STANDARDS, ADOPTED AS NATIONAL, IN THE FIELD OF RAIL TRANSPORT**

*Канд. техн. наук О.М. Сафронів, Ж.О. Семко  
Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування» (м. Кременчук)*

*PhD (Tech) O.M. Safronov, Z.O. Semko  
State enterprise "Ukrainian scientific railway car building research institute",  
(Kremenchuk)*

Згідно з діючим законодавством України [1] застосування національних стандартів є добровільним, окрім випадків передбачених [2]. Законодавством Європейського Союзу також проголошено принцип добровільного застосування стандартів. При цьому, застосування гармонізованих стандартів згідно з принципами, встановленими в [3] надає поширення презумпції відповідності визначеним суттєвим вимогам чинного законодавства. За якість продукції відповідальність несе виробник [4], оскільки відповідно до принципів Гармонізованого законодавства ЄС застосування при виробництві продукції гармонізованих стандартів гарантує її безпечність [5].

Згідно з [4] Гармонізовані стандарти розробляють та приймають, відповідно до внутрішніх правил Європейських організацій із стандартизації. У зв'язку з цим, всі європейські стандарти повинні бути перенесені на національний рівень національними органами стандартизації. Таке перенесення означає, що відповідні європейські стандарти повинні надаватися як національні стандарти в ідентичний спосіб, і що всі суперечливі національні стандарти повинні бути скасовані протягом певного періоду.

Гармонізованим законодавством ЄС передбачено викладення суттєвих вимог у відповідних розділах або додатках до конкретного акту Гармонізованого законодавства Союзу, якими в галузі залізничного транспорту є директива 2008/57/ЄС [6] та TSI (Technical Specifications for Interoperability). TSI можуть посилатись на Європейські стандарти, якщо це необхідно для досягнення мети Директиви. Але в [6] також зазначені випадки за яких можуть не застосовуватись TSI, а саме тоді коли застосування TSI поставить під загрозу економічну життєздатність проекту та/чи сумісність залізничної системи держави-члена та до поїздів третіх країн, ширина колії яких відмінна від головної залізничної мережі Співтовариства. Тобто Європейські нормативні документи передбачають існування національних особливостей для країн з іншою шириною колії. Для залізниць України притаманні національні відмінності між стандартами, які розроблені щодо застосування на європейській колії 1435 мм та тими, що застосовані в Україні для колії 1520 мм, а саме окрім самої ширини колії це і величини напруги в контактних мережах, тип зчеплення рухомого складу, максимальне нормативне значення удару, що має витримувати зчіпний пристрій із збереженням характеристик міцності та роботоздатності, навантаження на вісь рухомого складу, нормативні та граничні значення зусиль, що діють на гальмівну колодку, рівні віброприскорень, міцність сталевих конструкцій, тощо.

Згідно із зобов'язаннями, які визначено в Угоді про асоціацію, Україна поступово впроваджує звід Європейських стандартів (EN) як національні стандарти, зокрема гармонізовані європейські стандарти, добровільне застосування яких вважається таким, що відповідає вимогам законодавства, зазначеного у Додатку III до цієї Угоди. Одночасно з таким впровадженням Україна скасовує конфліктні національні стандарти, зокрема застосування міждержавних стандартів (GOST/ГОСТ), розроблених до 1992 року. Крім цього, Україна поступово вживатиме інших необхідних заходів щодо виконання умов набуття членства згідно з вимогами, що застосовуються до повноправних членів європейських організацій зі стандартизації. Проте ані Закон України Про стандартизацію [1], ні основоположні стандарти з стандартизації [7] - [11] не міститься термін «конфліктний стандарт». З огляду на приведене вище, рішення Національного органу стандартизації щодо скасування з 01.01.2026 р. більшої частини національних стандартів в галузі залізничного транспорту є необґрунтованим та можна вважати таким, що ставить під загрозу безпеку рухомого складу та інфраструктури колії 1520 мм, крім того, на нашу думку, таке скасування не передбачено зобов'язаннями України, перед Європейським союзом.

[1] Про стандартизацію : Закон України від 05.06.2014 № 1315-VII: Редакція від 20.04.2025, підстава -4336-IX, URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1315-18#Text> (дата звернення 24.11.2025)

[2] Про технічні регламенти та оцінку відповідності : Закон України від 15.01.2015 р. № 124-VIII. Редакція від 19.04.2025, підстава - 4341-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/124-19#Text> (дата звернення 24.11.2025)

[3] Council Resolution of 7 May 1985 on a new approach to technical harmonization and standards // OJ C 136 , 04/06/1985 P. 1.

[4] 2022/C 247/01 Повідомлення Комісії – «Блакитна настанова» із впровадження правил Європейського Союзу щодо продукції 2022 р.

- [5] Directive 2001/95/EC of the European Parliament and of the Council of 3 December 2001 on general product safety. URL: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2002:011:0004:0017:en:PDF> (дата звернення 24.11.2025).
- [6] Directive 2008/57/EC of the European Parliament and of the Council of 17 June 2008 on the interoperability of the rail system within the Community URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0057-20080718> (дата звернення 24.11.2025)
- [7] Національна стандартизація. Стандартизація та суміжні види діяльності. Словник термінів: ДСТУ 1.1:2015 (ISO/IEC Guide 2:2004, MOD) - [Чинний 2015-08-19]. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2015. – 57 с. - (Національний стандарт України)
- [8] Національна стандартизація. Правила проведення робіт з національної стандартизації : ДСТУ 1.2:2024 - [Чинний 2024-09-01]. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2024. – 43 с. - (Національний стандарт України)
- [9] Національна стандартизація. Правила розроблення, викладання та оформлення національних нормативних документів: ДСТУ 1.5:2015 (ISO/IEC Directives Part 2:2011, NEQ) - [Чинний 2017-02-01]. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 65 с. - (Національний стандарт України)
- [10] Національна стандартизація. Правила та методи прийняття міжнародних і регіональних нормативних документів: ДСТУ 1.7:2015 - [Чинний 2016-05-01]. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2015. – 55 с. - (Національний стандарт України)
- [11] Національна стандартизація. Правила розроблення Програми робіт з національної стандартизації: ДСТУ 1.8:2022 - [Чинний 2023-01-01]. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2022. – 23 с. - (Національний стандарт України)

**УДК 629.4.077**

**НЕГАТИВНІ НАСЛІДКИ ЗАСТОСУВАННЯ ГАЛЬМІВНИХ  
КОМПОЗИЦІЙНИХ КОЛОДОК НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТУ  
УКРАЇНИ  
(економічні та екологічні аспекти)**

**NEGATIVE CONSEQUENCES OF THE USE OF COMPOSITE BRAKE  
PADS ON RAILWAY TRANSPORT IN UKRAINE  
(economic and environmental aspects)**

*К.А. Сіренко, канд. техн. наук,  
В.Л. Мазур, чл.-кор. НАН України, д-р техн. наук,  
Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України(Київ)*

*К.А. Sirenko, PhD (Tech),  
V.L. Mazur, Corresponding Member of the NAS of Ukraine, D. Sc. (Tech),  
Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine (Kyiv)*

Обсяги виробництва і застосування гальмівних колодок для транспортних засобів залізниці в Україні складають сотні тисяч штук на рік. У зв'язку із зазначеним актуалізувалися економічні і екологічні питання щодо ефективності експлуатації гальмівних колодок, виготовлених із різних матеріалів, а саме із чавуну та із композиційної (композитної) гумосуміші, яка формується з багатьох компонентів і речовин у різних пропорціях. Головними компонентами гумосуміші «композиційних» колодок є каучук (гума), барит, керамзит, глинозем, вулканізуючі агенти, вуглець технічний, сірка, синтетичні смоли, доломітова мука та інші речовини. Компоненти гумосуміші подрібнюють, перемішують у спеціальних прес-формах за температури приблизно 175–180 °С під тиском 200–300 кгс/см<sup>2</sup> [1, с. 75–80]. Гальмівні композиційні колодки із

гумосуміші посилено рекламуються їх виробниками. Недоліки замовчуються, приховуються, спростовуються [2].

Про ефективність або неефективність застосування на залізничному транспорті гальмівних колодок, виготовлених із композиційної гумосуміші, порівняно з чавунними колодками свідчить статистична інформація відносно утворених на поверхні кочення коліс дефектів суто гальмівного походження. Згідно з результатами досліджень, представлених у ґрунтовній роботі [3]. Показано, що на залізниці України через дефекти гальмівного походження обточуванню поверхні кочення піддаються  $\sim 23\%$  колісних пар вантажних вагонів, на яких застосовують переважно композиційні гальмівні колодки. Аналогічні результати досліджень дефектів на поверхні кочення 12072 коліс вантажних вагонів, оснащених композиційними колодками, отримані авторами робіт [4–8]. У роботі [6] також підкреслюється, що застосування гальмівних композиційних колодок збільшило вихід коліс з ладу за наварами і термічними тріщинами.

Збільшення пошкоджень і дефектів поверхні кочення коліс, що має місце при застосуванні гальмівних колодок, виготовлених з композиційної гумосуміші, призводить до необхідності додаткового вартісного технічного обслуговування колісних пар, включаючи їх демонтаж-монтаж і обточування на колесотокарних верстатах для відновлення профілю поверхні кочення коліс.

Обумовлена утворенням дефектів на поверхні коліс необхідність обточування коліс скорочує загальну тривалість їх експлуатації. Додаткові витрати на виконання зазначених ремонтних операцій і на закупівлю нових коліс ставлять під сумнів доцільність масового застосування композиційних гальмівних колодок в системі української залізниці внаслідок негативного впливу на її економіку.

Основна причина збільшення утворення дефектів на поверхні кочення коліс рухомих засобів залізничного транспорту при застосуванні композиційних гальмівних колодок порівняно з чавунними колодками полягає в тому, що композиційна гумосуміш колодок має суттєво гіршу теплопровідність порівняно з теплопровідністю чавуну. В результаті при гальмуванні рухомих засобів у зоні контакту композиційних колодок з колесами виникає занадто висока (до 900–1000 °С) локальна температура, що й призводить до термічних пошкоджень поверхні кочення коліс, а згодом й залізничних рейок. Створюється небезпека горіння гумосуміші композиційних колодок, температура samozапалювання якої складає 350–500 °С.

Пошкодження поверхні кочення залізничних рейок виникають насамперед внаслідок ударних навантажень на рейки, що спричиняють утворені дефекти на поверхні кочення коліс транспортних засобів. Оснащення композиційних колодок чавунними вставками або чавунним каркасом кардинально не рятує ситуацію щодо їх недостатньої теплопровідності. Під приводом оснащення фрикційного елемента композиційних колодок чавунними вставками їх ціна не виправдано підвищена у разі без суттєвого покращення якості.

При порівнянні економічної ефективності застосування на залізницях України гальмівних колодок, виготовлених із чавуну і композиційної

гумосуміші, необхідно обов'язково враховувати той факт, що продукти зносу токсичної композиційної гумосуміші гальмівних колодок шкідливі для людей та навколишнього середовища. Витрати на лікування людей, які хворіють з цієї причини необхідно обраховувати. Особливо підкреслимо, що вперше у технічній літературі у сфері залізничного транспорту тему шкідливості для людей і довкілля композиційних гальмівних колодок порушили вчені Української державної академії (університету) залізничного транспорту, автори статей [4, 7] ще у 2013 році. В цих роботах було підкреслено, що (далі цитуємо дослівно): *«...молекулярно-механічне тертя полімерних гальмівних колодок по колесах супроводжується утворенням отруйного смогу навколо кожного потяга. Це розсіюються дрібнодисперсні частинки гуми, сажі, азбесту, бариту, електрокорунду, графіту, сірки та інших хімічних компонентів робочої маси колодок, отруюють навколишнє природне середовище і впливають на дихальні шляхи людей і тварин. Такі гальмівні колодки повинні бути заборонені»*. У 2021 році Український науково-дослідний інститут медицини транспорту МОЗ України у місті Одеса виконав розгорнуті глибокі дослідження композиційного матеріалу гальмівних колодок і в Експертному висновку від 30.12.2021 № 1571/16 однозначно підтвердив вищезазначене. Зазначена проблема має державне значення і потребує вирішення на законодавчому і відомчому рівнях.

Техніко-економічна ефективність застосування на залізничному транспорті гальмівних колодок із чавуну і композиційної гумосуміші визначається не тільки вартістю, зносостійкістю та тривалістю експлуатації самих колодок, а й їх впливом на зносостійкість, працездатність та обслуговування колісних пар транспортних засобів і залізничних рейок. Однозначно доведено, що застосування композиційних гальмівних колодок, виготовлених із композиційної гумосуміші, сприяє утворенню дефектів на поверхні кочення коліс рухомих засобів та залізничних рейок і скорочує тривалість експлуатації. Саме цей ефект вирішальним чином погіршує результати економічної діяльності залізниці загалом.

[1] Неижко И.Г., Найдек В.Л., Гаврилюк В.П. Тормозные колодки железнодорожного транспорта – Киев: НАН Украины, Физ.-технол. ин-т металлов и сплавов, 2009. – 121 с.

[2] Сіренко К.А., Мазур В.Л. Аналіз показників якості гальмівних колодок з чавуну і багатокомпонентних композиційних матеріалів // Метал та лиття України. – 2024. – Т. 32. – № 1 (336). – С. 40–49.

[3] Мурадян Л.А., Шапошник В.Ю., Шикунів О.А. Несправності гальмівного обладнання та дефекти колісних пар вантажних вагонів. // Вісник сертифікації залізничного транспорту. – 2021. – № 3. – С. 5–16.

[4] Равлюк В.Г. Аналіз негативних наслідків від ненормативної взаємодії гальмівних колодок з колісними парами у вантажних вагонах // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків. – 2016. – № 49. (1221). – С. 119–123.

[5] Ловська А., Равлюк В. Виявлення причин утворення поверхневих дефектів коліс вагонів, обладнаних композиційними колодками. Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій: Серія «Транспортні системи і технології». – 2022. – Вип. 40. – С. 102–120.

[6] Бабаченко О.І., Кононенко Г.А., Подольський Р.В., Сафронова О.А., Шпак О.А. Дослідження зв'язку мікроструктури та експлуатаційних дефектів колеса і рейки // Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії. – 2024. – Випуск 38. – С. 517–541.

[7] Мартинов І.Е., Нечволода К.С. Аналіз чинників, що впливають на ефективність використання автоматичних гальм вантажних вагонів. – Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2013. – Вип. 139. – С. 230–235.

[8] Вакуленко І.О., Анофрієв В.Г., Грищенко М.А., Перков О.М. Дефекти залізничних коліс. Монографія. – Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту з-го. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2009. – 108 с.

**СТВОРЕННЯ КУЗОВІВ НА БАЗІ УНІВЕРСАЛЬНИХ ПІВВАГОНІВ ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВАНТАЖІВ З ВИСОКОЮ НАСИПНОЮ ЩІЛЬНІСТЮ**

**CREATION OF BODYWORKS BASED ON UNIVERSAL GOLF CARGOES FOR TRANSPORTING HIGH BULK DENSITY CARGO**

*к.т.н., ст. досл. А.О. Сулим, к.т.н., ст. досл. О.М. Сафронов,  
к.т.н., ст. досл. П.О. Хозя., С.О. Столетов  
Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут  
вагонобудування» (ДП «УкрНДІВ») (м. Кременчук)*

*A.O. Sulym Ph.D., (Tech.), O.M. Safronov Ph.D., (Tech.),  
P.O. Khozia Ph.D., (Tech.), S.O. Stoletov  
State Enterprise “Ukrainian Scientific Railway Car Building Research Institute”  
(SE “UkrNDIV”) (Kremenchuk)*

Вступ. Одним із перспективних, пріоритетних і нагальних напрямків розвитку інноваційної діяльності на залізничному транспорті є оновлення парку сучасними вантажними вагонами. Необхідність оновлення вітчизняного парку вантажних вагонів викликана їх значним фізичним і моральним зносом. Тому роботи за цим напрямом є своєчасними та актуальними.

Аналіз останніх досліджень. Одним із напрямків подальшого оновлення та розвитку парку вантажних вагонів є створення типорозмірного ряду спеціалізованих вантажних вагонів на базі універсального напіввагона для перевезення вантажів високої насипної щільності, зокрема залізрудних окатишів [1-4]. У наведених роботах обґрунтовано необхідність створення та сформульовано основні вимоги до конструкції цих вагонів. Однак питання розроблення кузовів таких вагонів в цих роботах не розглядалися.

Мета. Створення кузовів для перевезення вантажів з високою насипною щільністю на базі універсальних піввагонів.

Матеріал досліджень. У цій роботі створено кузова для перевезення вантажів з високою насипною щільністю на базі існуючих моделей глухонного та люкового універсальних піввагонів. В основу створення кузовів поставлена задача підвищення ефективності використання кузова піввагона за рахунок зміни конструктивних розмірів кузова і відповідного зниження його маси тари. Реалізації цієї задачі полягає в поліпшенні технічних характеристик глухонного та люкового піввагонів за рахунок зменшення довжини кузова при незмінній його ширині і висоті, що дозволяє зменшити масу тари кузова і, відповідно, більш ефективно використовувати його об'єм при перевезенні сипучих вантажів з високою насипною щільністю. Підвищення

ефективності використання кузовів піввагонів для перевезення вантажів з високою насипною щільністю забезпечується при їх виконанні таким чином, що відношення внутрішньої висоти  $H$  до внутрішньої довжини  $L$  складає  $0,195 \leq H/L \leq 0,21$ , а відношення внутрішньої ширини  $B$  до внутрішньої довжини  $L$  складає  $0,26 \leq B/L \leq 0,27$ . Внутрішні розміри кузова відомих універсальних піввагонів та запропонованої конструкції наведено в табл. 1.

Табл. 1. Внутрішні розміри кузова

Внутрішній розмір кузова, мм	Глухонного піввагона		Люкового піввагона	
	Відомої конструкції	Запропонованої конструкції	Відомої конструкції	Запропонованої конструкції
Довжина (L)	<b>10954±5</b>	<b>12684±5</b>	<b>11094±5</b>	<b>12684±5</b>
Ширина (B)	2900±5	2900±5	2900±5	2900±5
Висота (H)	2216±8	2216±8	2216±8	2216±8

В процесі виконання цієї роботи виконано теоретичні дослідження зі зменшення маси кузова та піввагона, зниження матеріалоемності на його виготовлення, підвищення ефективності використання. Дослідження щодо підвищення ефективності використання запропонованої конструкції кузова піввагона виконано на прикладі перевезення залізрудних окатишів. Під час досліджень значення насипної щільності окатишів прийнято  $2,1 \text{ т/м}^3$ .

Висновки. Для перевезення вантажів з високою насипною щільністю запропоновано технічне рішення створення кузовів на базі відомих конструкцій піввагонів. Запропоноване технічне рішення кузова глухонного піввагона дозволить зменшити масу тари вагона на 1,1 т (5%), зменшити матеріалоемність виготовлення кузова на 0,5 т (11%), підвищити вантажопідйомність вагона до 72,6 т (1,5%) та ефективність корисного використання об'єму кузова на 7,3%, збільшити обсяги перевезення залізрудних окатишів одним поїздом на 17%. Запропоноване технічне рішення кузова люкового піввагона дозволить зменшити масу тари вагона на 1,1 т (5%), зменшити матеріалоемність виготовлення кузова на 0,6 т (8%), підвищити вантажопідйомність вагона до 72,1 т (1,5%) та ефективність корисного використання об'єму кузова на 6,6%, збільшити обсяги перевезення залізрудних окатишів одним поїздом на 15%.

1. Донченко А.В., Сафронов О.М. Вимоги до формування типорозмірного ряду вагонів нового покоління для забезпечення провізної спроможності залізниць. Збірник наукових праць «Рейковий рухомий склад». 2016. Вип. 13. С. 41–44.

2. Сафронов О.М., Стринжа А.М., Худієнко В.А. Визначення технічних характеристик спеціалізованих напіввагонів для перевезення руди та вугілля з метою забезпечення відповідних параметрів інноваційності та збільшення погонного навантаження. Збірник наукових праць «Рейковий рухомий склад». 2016. Вип. 13. С. 45–48.

3. Сулим А.О., Сафронов О.М., Ільчишин В.В., Стринжа А.М., Федорак І.І. До питання створення спеціалізованого вагона для перевезення вугілля та залізрудних окатишів. Матеріали конференції: II Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Актуальні проблеми і перспективи інноваційного розвитку економіки та техніки в умовах інтеграції України в європейський науково-виробничий простір у місті Кременчук, 09 червня, 2022 р. Кременчук.: ДП «УкрНДІВ», 2022. С. 50-51.

4. Сулим А.О., Сафронов О.М., Хозя П.О., Стринжа А.М. Обґрунтування необхідності створення спеціалізованого вагона для перевезення залізрудних окатишів. Збірник наукових праць ДУІТ. Серія «Транспортні системи і технології». 2022. Вип. 40. С. 23–34. DOI: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2022-40-3>

**АНАЛІЗ ПОШКОДЖЕНЬ ВАГОНІВ-ХОПЕРІВ ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ  
ЗЕРНА ПІСЛЯ ЇХ СХОДЖЕНЬ ІЗ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ**

**ANALYSIS OF DAMAGE TO GRAIN HOPPER CARS AFTER THEY  
DEPARTURED FROM THE RAILWAY TRACK**

*В.О. Шушмарченко, В.В. Федоров, О.О. Бородай*  
*Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут*  
*вагонобудування» (ДП «УкрНДІВ») (м. Кременчук)*

*V.O. Shushmarchenko, V.V. Fedorov, O.O. Borodai*  
*State Enterprise “Ukrainian Scientific Railway Car Building Research Institute”*  
*(SE “UkrNDIV”)(Kremenchuk)*

Вступ. Забезпечення безпеки руху на залізничному транспорті є однією з найважливіших вимог до роботи залізниць [1]. Серед аварій та катастроф на залізничному транспорті найбільшу небезпеку становить сходження рухомого складу з рейок, так як це може призвести до тяжких наслідків. Тому роботи, направлені на підвищення безпеки на залізничному транспорті є завжди актуальними та першочерговими.

Аналіз останніх досліджень. У статті [1] виконано оцінку ризиків виникнення транспортних подій на залізничному транспорті. У роботі [2] визначено ймовірні причини сходжень з залізничних рейок вантажних вагонів. У статті [3] виконано аналіз причин виникнення аварій на залізничних коліях та запропоновано способи підвищення безпеки. Однак питання детального аналізу пошкоджень вагонів-хоперів для перевезення зерна після їх сходжень із залізничної колії в цих роботах не розглядались.

Мета. Дослідження характерних пошкоджень вагонів-хоперів для перевезення зерна після їх сходження із залізничної колії внаслідок аварійних ситуацій.

Матеріал досліджень. В рамках виконання підприємством робіт протягом 2025 року щодо визначення можливості ремонту та подальшої експлуатації вагонів-хоперів бункерного типу для перевезення зерна після їх сходження із залізничної колії проаналізовано характер пошкоджень. В процесі виконання робіт фіксувались всі виявлені пошкодження механічного характеру. При цьому визначення геометричних розмірів пошкоджень вагонів-хоперів для зерна проводилися прямими вимірюваннями за допомогою засобів вимірювальної техніки. Методами неруйнівного контролю виявлялися деформації, злами, зноси, вигини, прогини, обриви, ослаблення кріплення вузлів і деталей, тріщини елементів рами і кузова вагона. В якості методів контролю використовувались візуально-оптичний, ультразвуковий, капілярний.

Деякі із зафіксованих механічних пошкоджень вагонів-хоперів після їх сходжень із залізничної колії наведено на рис. 1-4.



*Рис.1. Пошкодження кінцевої балки*



*Рис.2. Пошкодження бункера*



*Рис.3. Пошкодження верхньої полки хребтової балки*



*Рис.4. Пошкодження обшивки бокової*

Слід зазначити, що в процесі досліджень виявлені значні деформації, злами, розриви, вм'ятини, обриви кріплення вузлів і деталей, тріщини елементів рами і кузова вагонів-зерновозів. Разом з тим, виявлені пошкодження можливо усунути в об'ємі капітального ремонту.

Висновки. За результатами аналізу виявлених несправностей встановлені наступні характерні механічні пошкодження після сходження вагонів-хоперів для перевезення зерна із залізничної колії: відриви, деформації, злами кінцевих балок; відриви, деформації обв'язок кінцевих; вигини та деформації підсилювальної косинки шворневого вузла; деформації верхніх та нижніх полок хребтових балок; вм'ятини бокових обв'язок та обшиви кузова; обриви, злами, деформації підніжок складачів; тріщини в бокових та торцевих стінах вагонів; вм'ятини і деформації верхньої обв'язки та даху вагона; вм'ятини і деформації розвантажувальних бункерів; деформації верхніх та нижніх листів шворневих балок; відриви кронштейнів для підйому кузова вагона; відриви перехідних площадок, поручнів, драбин для підйому на дах; відриви, злами, деформації торцевих стійок.

1. Шиш В.О., Ребриков С.Я., Пузир В.Г. Оцінка ризиків виникнення транспортних подій на залізничному транспорті. Залізничний транспорт України. 2022. № 3. С. 11–20. DOI: <https://doi.org/10.34029/2311-4061-2022-144-3-11-20>

2. Дьомін Ю.В., Черняк Г.Ю. До визначення ймовірних причин сходжень з рейок вантажних вагонів. Залізничний транспорт України. 2020. № 3. С. 35–42. DOI: <https://doi.org/10.34029/2311-4061-2020-136-3-35-42>

3. Фомін О.В., Горбунов М.І., Мурашова Н.Г., Швець А.О., Сова С.С. Аналіз причин виникнення аварій на залізничних коліях та способи підвищення рівня безпеки. Локомотив-інформ. 2020. № 1. С. 7-12.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЗГИНАЛЬНИХ ДЕФОРМАЦІЙ РАМИ ДРЕЗИНИ  
ВАНТАЖНОЇ КРАНОВОЇ З МЕТОЮ ВИЯВЛЕННЯ ПРИЧИН ЇХ  
ВИНИКНЕННЯ**

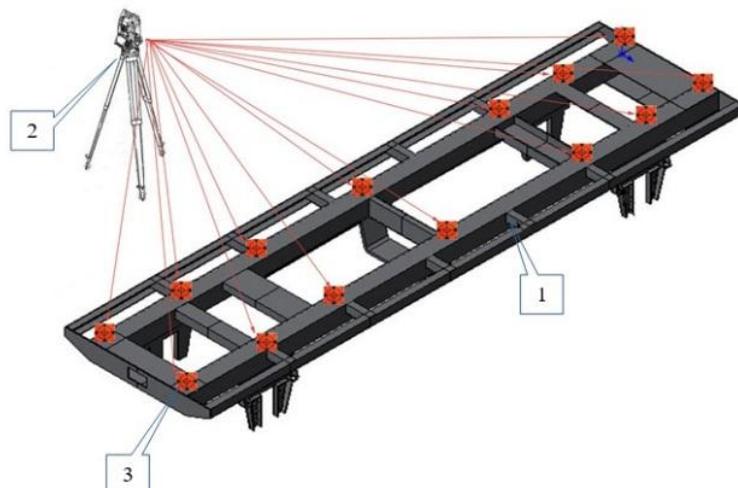
**RESEARCH OF BENDING DEFORMATIONS OF THE CARGO CRANE  
CARRIAGE FRAME WITH THE PURPOSE OF DETERMINING THE  
CAUSES OF THEIR OCCURRENCE**

*О.В. Фомін док. техн. наук, Магістр М.П. Терещук  
Національний транспортний університет (м.Київ)*

*O.V. Fomin , D.Sc. (Eng.), Master student, M.P. Tereschuk  
National Transport University (Kyiv)*

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.



1 – рама кузова; 2 – тахеометр електронний; 3 – світловідбивачі.

Рис 1 – Схема вимірювання вертикальних деформацій рами кузова дрезини ДГКу.

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.

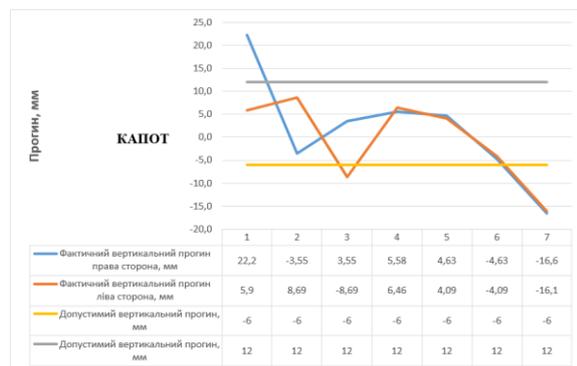
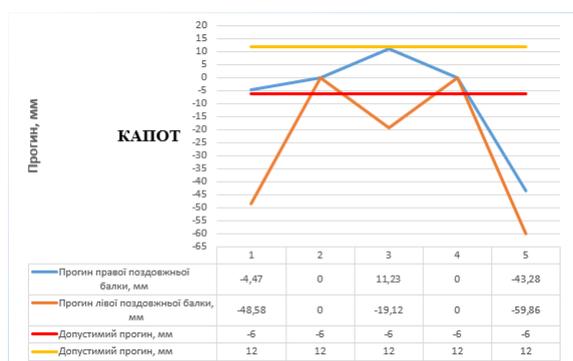
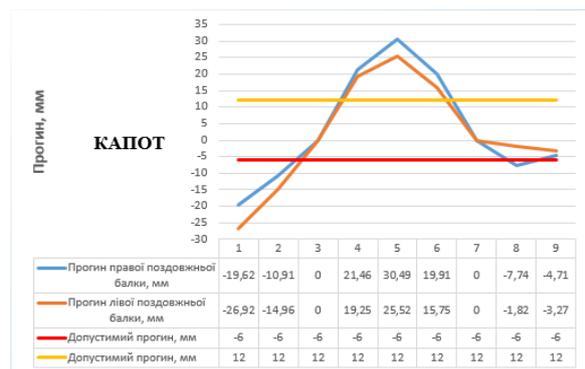
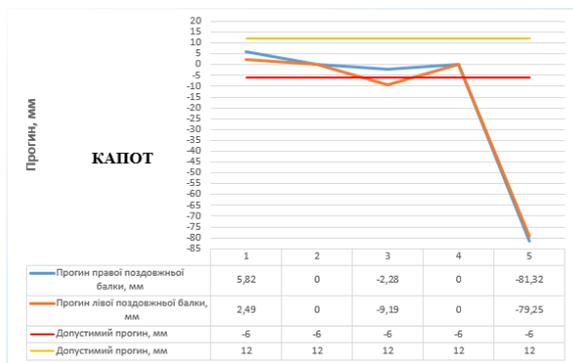


Рис 2 – Діаграми вимірювання величин прогину лівих та правих основних поздовжніх балок дрезин типу ДГКу

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.

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>

**УДК 656.2: 620.9**

## **ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В ІНФРАСТРУКТУРУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

### **INTEGRATION OF RENEWABLE ENERGY INTO RAILWAY TRANSPORT INFRASTRUCTURE**

*Дарина БРУСИЛО, Інна ГЛАДКИХ*  
*Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут*  
*вагонобудування» (ДП «УкрНДІВ») (м. Кременчук)*

*Daryna BRUSYLO, Inna HLADKYKH*  
*State Enterprise «Ukrainian Scientific Railway*  
*Car Building Research Institute» (Kremenchuk)*

Залізничний транспорт є однією з ключових складових транспортної системи України, забезпечуючи як пасажирські, так і вантажні перевезення. Автономні системи електропостачання пасажирських вагонів, що використовують підвагонні генератори, мають певні недоліки, зокрема потребують досягнення швидкості понад 35 км/год для початку заряджання акумуляторних батарей. Це створює труднощі під час стоянок або руху на низькій швидкості. У цьому контексті актуальним є впровадження відновлювальних джерел електроенергії (ВДЕ) для підвищення ефективності електропостачання залізничного транспорту [1].

Реалізація фото-вітрових систем на об'єктах залізничної інфраструктури (станції, депо, тягові підстанції) може забезпечити автономне або часткове енергопостачання, зменшити залежність від централізованих енергосистем і підвищити стійкість енергопостачання. [2]

Сучасні технології накопичення енергії (акумулятори, системи зберігання) у поєднанні з ВДЕ дають змогу зберігати надлишкову енергію (наприклад, в години мінімального навантаження) та використовувати її під час піків споживання або у автономному режимі. [3]

Згідно з науковими напрацюваннями, використання ВДЕ в енергосистемі залізничного транспорту може застосовуватися як на тягових підстанціях, так і для забезпечення роботи нетягових споживачів, таких як освітлення, кліматичні та інформаційні системи. Така інтеграція дає змогу скоротити обсяг електроенергії, отриманої з мережі, і тим самим зменшити експлуатаційні витрати.

Розроблені в сучасних дослідженнях концепції енергоменеджменту, які поєднують відновлювану генерацію з рекуперацією енергії гальмування та можливістю заряджання електротранспорту чи станційних систем, демонструють відчутне підвищення енергоефективності інфраструктури та зниження витрат на її утримання. Крім того, розвиток використання екологічно чистих енергетичних ресурсів на залізницях сприяє енергозбереженню, зниженню рівня шкідливих викидів і загальному скороченню вуглецевого сліду залізничного транспорту. Це дає змогу залізницям стати лідерами у впровадженні сталих енергетичних рішень для великомасштабних перевезень [4]

Водночас впровадження відновлюваних джерел енергії у залізничну інфраструктуру супроводжується низкою організаційних та технічних викликів. До ключових бар'єрів належать необхідність модернізації існуючих мереж, забезпечення сумісності обладнання, оптимізація систем керування енергопотокami та гарантування стабільності роботи при змінних режимах генерації ВДЕ. Дослідження також підкреслюють важливість економічного аналізу, адже ефективність впровадження залежить від вартості встановлення, обслуговування та термінів окупності обладнання.

Не менш значущим є нормативно-правове забезпечення, оскільки інтеграція ВДЕ в залізничну галузь потребує оновлення стандартів, технічних регламентів та процедур підключення. Провідні країни вже демонструють успішні кейси — використання сонячних панелей на вокзалах, вітрогенераторів на депо та гібридних систем живлення у вагонному господарстві, що підтверджує реалістичність та доцільність таких рішень.

Отже, подальший розвиток відновлюваної енергетики на залізничному транспорті України передбачає комплексний підхід: технічну модернізацію, впровадження сучасних систем енергоменеджменту, систем накопичення енергії, а також адаптацію нормативної бази для широкого застосування інноваційних рішень.

[1] Бойко С. М., Котов О. Б., Жуков О. А., Коваль А. М., Риков Г. Ю., Лапіна О. С. Актуальність та особливості впровадження відновлювальних джерел електричної енергії в умовах залізничного транспорту. Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія «Технічні науки». 2024. Т. 35, № 4. С. 303-307.

[2] Шведчикова І. О., Магалашвілі Н. Д. Розширення можливостей використання систем акумуляції та генерації енергії з відновлюваних джерел для енергозабезпечення інфраструктурних об'єктів залізниці. — 2023.

[3] Омеляненко Г. В. Огляд сучасних накопичувачів енергії на залізничному транспорті. — EEES-2022.

УДК 629.463.65

## КОМПОЗИТНЕ ЗАХИСНЕ ПОКРИТТЯ НА ОСНОВІ ГРАФЕНУ ТА ПОЛІУРЕТАНУ ДЛЯ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ

## COMPOSITE PROTECTIVE COATING BASED ON GRAPHENE AND POLYURETHANE FOR FREIGHT WAGONS

*О.В. Фомін док. техн. наук, професор, О.С. Козинка  
Національний транспортний університет (м.Київ)*

*O.V. Fomin , D.Sc. (Eng.), Professor, O.S. Kozynka  
National Transport University (Kyiv)*

Рухомий склад вантажного транспорту зазнає значного зношування через вплив агресивних середовищ, механічних ударів під час завантаження та постійних вібрацій у процесі руху. Сучасні матеріали не завжди забезпечують достатню стійкість до цих факторів, що викликає потребу в інноваційних рішеннях, серед яких особливої уваги заслуговує графен.

Графен-поліуретанове покриття – це полімерна матриця з поліуретану, модифікована добавками графену або графеноксида. Такий композит поєднує: гнучкість і еластичність поліуретану, високу міцність, хімічну інертність і водонепроникність графену. Введення графену в полімерні покриття суттєво підвищує їхню корозійну стійкість завдяки покращеним бар'єрним властивостям [1].

Графен є двовимірною формою вуглецю, що характеризується високою міцністю, електро- та теплопровідністю, хімічною інертністю. Завдяки гексагональній структурі атомів вуглецю, графен забезпечує неперевершену механічну стійкість, що робить його ідеальним кандидатом для зміцнення полімерних матриць. Функціоналізований графен значно зміцнює поліуретанові покриття, покращуючи їхню антикорозійну ефективність у агресивних середовищах [2].

Поліуретан відомий своєю еластичністю, адгезією до металів і стійкістю до стирання. Додавання графену до поліуретану забезпечує покращений захист від корозії та зношування, формуючи високоміцне композитне покриття [3]. Додавання графену в поліуретанову матрицю формує композитне покриття з поліпшеними характеристиками:

- підвищена ударостійкість (до +60%);
- стійкість до вібраційних деформацій;
- бар'єрні антикорозійні властивості;
- термостабільність у широкому діапазоні температур.

Умови експлуатації вантажних вагонів потребують матеріалів, здатних ефективно протидіяти механічним навантаженням. Композитне покриття розсіює енергію ударів та зменшує поширення мікротріщин завдяки армуванню графеном. Поліуретан поглинає вібрації, а графен посилює загальну структуру покриття, забезпечуючи високу зносостійкість. Функціоналізований графен суттєво покращує механічні та термічні властивості поліетиленових нанокомпозитів [4].

Нанесення покриття доцільне на: кузови вантажних вагонів; внутрішні поверхні, що контактують із сипучими матеріалами; стикові та буферні вузли; днища та бічні панелі.

Промислове нанесення можливе за допомогою стандартних методів – розпилення, валикове або занурення. Технологія не вимагає радикальної перебудови виробництва, що полегшує її інтеграцію в існуючі процеси. Очікуване зниження витрат на технічне обслуговування становить до 25% за рахунок зменшення частоти ремонту та подовження ресурсу елементів.

У лабораторних тестах покриття "графен + поліуретан" демонструє: у 5 разів вищу антикорозійну стійкість, ніж традиційна фарба; підвищення твердості за Шором на 30–40%; стабільність при температурах від –40 до +80°C. Графен та оксид графену ефективно підвищують бар'єрні властивості полімерів, зменшуючи проникність газів і вологи [5].

Перспективи впровадження: Покриття можна наносити методом розпилення або валиком у заводських умовах. Можлива модифікація існуючих систем фарбування з мінімальними витратами. Використання такого покриття зменшує витрати на ремонт і перекраску, а також подовжує міжремонтні інтервали.

Застосування графен-поліуретанових композитних покриттів у вагонному господарстві є інноваційним рішенням, що поєднує переваги обох матеріалів. Такий підхід дозволяє підвищити надійність вагонів, знизити витрати на обслуговування і підвищити ефективність роботи залізничного транспорту в цілому.

[1] Yadav, A., Kumar, S., & Verma, P. (2025). *Graphene-based impregnation into polymeric coating for corrosion resistance*. *Journal of Materials Performance*, 12(3), 145–158. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11990139/>

[2] Du, L., An, Y., Zhang, C., & Liu, H. (2025). *Enhanced corrosion resistance of acrylic polyurethane coatings via PPy-functionalized graphene*. *Progress in Organic Coatings*, 185, 107123. <https://www.cnpici.com/EN/10.12020/j.issn.0253-4312.2025-159>

[3] Tsai, P.-Y., Chen, T.-E., & Lee, Y.-L. (2018). *Development and characterization of anticorrosion and antifriction properties for high performance polyurethane/graphene composite coatings*. *Coatings*, 8(7), 250. <https://doi.org/10.3390/coatings8070250>

[4] Kuila, T., Bose, S., Mishra, A. K., Khanra, P., Kim, N. H., & Lee, J. H. (2012). Effect of functionalized graphene on the physical properties of linear low density polyethylene nanocomposites. *Polymer Testing*, 31(1), 31–38. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2011.09.007>

[5] Yoo, B. M., Shin, H. J., Yoon, H. W., & Park, H. B. (2013). Graphene and graphene oxide and their uses in barrier polymers. *Journal of Applied Polymer Science*, 131(1). <https://doi.org/10.1002/app.39628>

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ВАНТАЖНОГО ВАГОНА З  
ПОДОВЖЕНИМ СТРОКОМ СЛУЖБИ**

**STADY OF THE PARFORMANCES OF A FREIGHT WAGON WITH AN  
EXTENDED SERVICE LIFE**

*к.т.н., ст. досл. А.О. Сулим, к.т.н., ст. досл. Хозя П.О., С.О. Столетов  
Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут  
вагонобудування» (ДП «УкрНДІВ») (м. Кременчук)*

*A.O. Sulym Ph.D., (Tech.), P.O. Khozia Ph.D., (Tech.), S.O. Stoletov  
State Enterprise “Ukrainian Scientific Railway Car Building Research Institute”  
(SE “UkrNDIV”)(m. Kremenchuk)*

Вступ. На даний час парк вантажних вагонів представлений переважно вагонами з завершеним нормативним строком служби. При цьому серед учасників ринку вантажних перевезень останнім часом точаться гострі дискусії щодо можливості подальшої експлуатації вагонів з подовженим строком служби. Одні відстоюють позицію можливості подовження терміну експлуатації зазначеним вантажним вагонам за їх технічним станом. У той час, як інші відстоюють позицію повної заборони експлуатації вантажних вагонів з вичерпаним строком служби понад нормативний, встановлений заводом-виробником цих вагонів. Однією із причин заборони продовження терміну експлуатації вантажних вагонів з вичерпаним нормативним строком служби останні вбачають у невідповідності технічних характеристик вимогам чинної нормативної документації.

Аналіз останніх досліджень. Питання дослідження показників новостворених та вживаних вантажних вагонів розглядалися в роботах [1-4]. Однак в наведених роботах не виконувались дослідження з визначення показників вантажних вагонів з подовженим строком експлуатації. Тому в цій роботі пропонується зупинитись на цьому питанні та детальніше його дослідити.

Мета. Провести науково-експериментальні дослідження показників вантажного вагона з подовженим строком служби на відповідність чинних нормативних вимог.

Матеріал досліджень. У якості дослідного обрано дослідний вантажний вагон для перевезення зерна та інших харчових продуктів, виготовлений у 1982 році. Строк експлуатації дослідного вагона досяг майже полуторного – 43 роки. Науково-експериментальні дослідження показників вагона виконувались у його порожньому та завантаженому до максимальної вантажопідйомності станах. У процесі виконання комплексних науково-експериментальних досліджень проводились стаціонарні гальмівні випробування, вписування в габарит, визначення маси тари та геометричних розмірів, статичні міцносні

випробування, ходові динамічні та міцносні випробування, випробування з впливу вагона на залізничну колію.

Висновки. За аналізом результатів науково-експериментальних досліджень показників вантажного вагона з подовженим строком служби встановлено таке.

1. Показники стаціонарних гальмівних випробувань відповідають вимогам СТП 03.01-001 [5], ДСТУ 7598 [6].

2. Показники статичних міцносних, ходових динамічних та міцносних випробувань відповідають вимогам ДСТУ 7598 [6].

3. Показники з впливу вагона на залізничну колію відповідають вимогам ДСТУ 7571 [7].

4. Існує можливість подальшої експлуатації дослідного вантажного вагона з подовженим строком служби без встановлення швидкісних обмежень (до 120 км/год включно).

1. Рейдемейстер О.Г., Шикунів О.А., Ягода Д.О. Експериментальні дослідження технічних характеристик вагона-платформи моделі 13-4155. 2-а Міжнародна науково-технічна конференція «Прогресивні технології засобів транспорту». Харків, 05-06 грудня.: Тези доповідей. Харків: УкрДУЗТ, 2024. С. 76–77.

2. Гречкін О.А., Єгоров Д.О. Створення вантажного вагону для перевезення сипких вантажів моделі 19-7154. Залізничний транспорт України. 2024. № 4. С. 4–9. DOI: <https://doi.org/10.34029/2311-4061-2024-153-4-04-09>

3. Федорак І.І., Сулим А.О., Хозя П.О., Столетов С.О. Експериментальні дослідження вагона-платформи моделі 13-1894 для великотоннажних контейнерів. Збірник наукових праць «Рейковий рухомий склад». Кременчук: ДП «УкрНДІВ», 2024. Вип. 29. С. 81–93. DOI: <https://doi.org/10.47675/2304-6309-2024-29-81-93>

4. Фомін О.В., Кара С.В., Прокопенко П.М., Горбунов М.І., Фомін В.В. Оцінка динамічних якостей руху переобладнаних вагонів-хоперів після тривалої експлуатації. Збірник наукових праць ДУІТ. Серія «Транспортні системи і технології». 2020. Вип. 36. С. 33–42. DOI: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2020-36-4>

5. СТП 03.01-001:2023 Вагони вантажні. Ремонт гальмівного обладнання. Правила виконання. Введено на підставі протоколу засідання правління АТ «Укрзалізниця» від 10.04.2023 № Ц-85/20 Ком.т. Київ, ДП «Укрзалізниця», 2023. 205 с.

6. ДСТУ 7598:2014 Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). Введено на підставі наказу ДП «УкрНДНЦ» від 02.12.2014 № 1430. Київ, ДП «УкрНДНЦ», 2014. 64 с.

7. ДСТУ 7571:2014 Рухомий склад залізниць. Норми допустимого впливу на залізничну колію шириною 1520 мм. Введено вперше на підставі наказу Мінекономрозвитку України від 02.12.2014 № 1429. Київ, Мінекономрозвитку, 2015. 15 с.

**ПОШУК ШЛЯХІВ ПОЛІПШЕННЯ АЕРОДИНАМІЧНИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ВАНТАЖНОГО НАПІВВАГОНА**

**SEARCH FOR WAYS TO IMPROVE THE AERODYNAMIC  
CHARACTERISTICS OF A CARGO VEHICLE**

*К.т.н. В. О. Шовкун, аспірант, Р. С. Мартишко, аспірант Є.О. Шульга,  
аспірант О.О. Балашов, магістр В.В. Путренко  
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

*PhD (Tech.) V. O. Shovkun, Postgraduate Student R. S. Martyshko;  
Postgraduate Student Ye. O. Shulha; Postgraduate Student O. O. Balashov;  
Master's Student V. V. Putrenko  
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

В умовах зростання швидкостей руху вантажних поїздів та підвищення вимог до енергоефективності залізничного транспорту аеродинамічний опір вантажних вагонів набуває суттєвого значення в загальному балансі сил опору руху.

Вантажні напіввагони характеризуються несприятливою аеродинамічною формою через відкриту конструкцію кузова, наявність гострих кромek, виступаючих елементів рами та ходових частин, що призводить до інтенсивного утворення вихрових зон і зростання коефіцієнта лобового опору.

Метою дослідження є визначення конструктивних і експлуатаційних заходів, спрямованих на зменшення аеродинамічного опору вантажного напіввагона та підвищення його енергетичної ефективності.

Аналіз літературних джерел показує, що найбільш ефективними способами покращення аеродинамічних характеристик є оптимізація геометрії торцевих і бортових поверхонь кузова, використання аеродинамічних накладок, екранів для ходових частин, а також часткове закриття міжвагонного простору. Перспективним напрямком є застосування знімних або інтегрованих аеродинамічних елементів (дефлекторів, обтічників, бортових вставок), які не погіршують технологічність вантажних операцій і не знижують ремонтпридатність вагона.

Значну увагу слід приділяти зменшенню турбулентності повітряних потоків у зоні візків і підвагонного простору шляхом встановлення захисних екранів та оптимізації компоновки елементів гальмівного обладнання. Для оцінювання ефективності запропонованих конструктивних рішень доцільно застосовувати чисельні методи обчислювальної гідродинаміки (CFD), що дозволяють визначити розподіл швидкостей і тисків повітряного потоку, а також зниження коефіцієнта аеродинамічного опору. Реалізація заходів з підвищення аеродинамічних характеристик вантажного напіввагона забезпечує зменшення витрат енергії на тягу, зниження експлуатаційних витрат,

скорочення викидів шкідливих речовин та підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту.

1. Suzuki K., Tanaka H., Sato Y. Aerodynamic drag reduction of freight trains by shape optimization of freight cars // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 2013. – Vol. 123. – P. 131–138.
2. Baker C.J The flow around high-speed trains // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 2010. – Vol. 98(6–7). – P. 277–298.

**УДК 621.791:629.4.027**

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕМОНТУ РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАВДЯКИ СУЧАСНОМУ ЗВАРЮВАЛЬНОМУ ОБЛАДНАННЮ**

### **INCREASING THE EFFICIENCY OF ROLLING STOCK REPAIR THROUGH MODERN WELDING EQUIPMENT**

***I.V. Євницька***

*Комунальний заклад освіти «Криворізький гірничий коледж»  
Дніпропетровської обласної ради», (м. Кривий Ріг)*

***I.V. Yevnytska***

*Communal Educational Institution “Kryvyi Rih Mining College” of the  
Dnipropetrovsk Regional Council (Kryvyi Rih)*

Сучасний ремонт металоконструкцій, зокрема деталей і вузлів рухомого складу чи вагонів, неможливий без високотехнологічних інструментів, що забезпечують швидкість, точність та безпеку виконання робіт. До ключових засобів, які істотно підвищують ефективність ремонтних процесів, належать інверторні зварювальні апарати та плазмові різачки нового покоління, серед яких особливу увагу привертає плазморіз Tesla.

Інверторні зварювальні апарати поступово витіснили традиційні трансформаторні пристрої. Їх застосовують як основу сучасних ремонтних технологій, оскільки мають низку вагомих переваг: інвертори споживають менше електроенергії та забезпечують стабільну дугу навіть за знижених показників напруги; невелика вага дозволяє виконувати ремонтні роботи без прив'язки до стаціонарного обладнання; завдяки електронному управлінню інвертори забезпечують плавне регулювання струму та якісне формування шва; можливість роботи різними видами електродів і в різних режимах (ММА, MIG/MAG, TIG) робить їх універсальним рішенням для ремонту рухомого складу. У ремонтній сфері це означає скорочення часу на виконання зварювальних операцій, зменшення кількості браку та підвищення загальної надійності відновлених вузлів.

Плазмове різання вже стало невід'ємним етапом підготовки деталей для ремонту рухомого складу, особливо коли необхідно швидко та чисто відокремити дефектні елементи або підготувати матеріал для зварювання.

Плазморіз Tesla – інструмент високоточного різання, що поєднує в собі простоту використання та високу продуктивність.

Таблиця 1 - Приклади синергії сучасних технологій у ремонтних роботах

Деталь/вузол вагона	Плазморіз	Інверторний зварювальний
Рама вагона (бічні, поперечні, кінцеві балки, хребтова балка)	Вирізання пошкоджених ділянок, прорізання вікон для ревізії	Приварювання підсилювальних накладок, ремонт тріщин, наплавлення
Ребра жорсткості, кронштейни рами	Демонтаж старих елементів	Приварювання нових кронштейнів, посилення
Підлога вантажного вагона	Різання зношених листів підлоги	Приварювання нових листів, зварювання стиків
Стіни (борти) піввагона, двері, обшивка кузова	Вирізання корозійних ділянок, формування отворів	Приварювання нових листів, ремонт каркаса, зварювання рам дверей
Дах вагона	Акуратне різання тонколистового металу	Приварювання латок, ремонт каркаса покрівлі
Дверні отвори, кутові стійки	Вирізання деформованих сегментів	Відновлення несучої здатності, приварювання нових елементів
Сходинок, поручні, майданчики	Різання пошкоджених елементів	Приварювання нових деталей, відновлення кріплень
Вузли гальмової системи (металеві кронштейни)	Демонтаж зношених кронштейнів	Приварювання нових кріплень та упорів
Вузли візків (кронштейни, майданчики)	Різання зношених деталей перед наплавленням / заміною	Наплавлення зношених поверхонь, підсилення
Кронштейни обладнання, дрібні металеві деталі	Різання металу під форму	Виготовлення та приварювання нових деталей
Отвори під кріплення, люки, доступ до вузлів	Створення точних прорізів у металі	Обробка після зварювання, герметизація стиків
Платформи, рами для обладнання, монтажні планки	Різання та підгонка деталей	Збирання та зварювання конструкції

До основних переваг плазморіза Tesla відносять:

- високу швидкість різання. Плазмовий струмінь дозволяє різати сталь, алюміній та інші метали значно швидше, ніж газові різачки.
- чистий та рівний різ. Мінімальна кількість окалини полегшує подальшу підготовку до зварювання.

- економічність. Не потребує газових балонів, працює від електромережі та має низькі експлуатаційні витрати.
- безпеку та надійність. Завдяки сучасним системам охолодження та захисту плазморіз забезпечує стабільну роботу в інтенсивних умовах.

Завдяки точності та швидкості плазморіза Tesla слюсарі з ремонту рухомого складу можуть значно скоротити підготовчі операції та підвищити загальну продуктивність ремонтних процесів.

Таким чином, поєднання інверторних зварювальних апаратів та плазморіза Tesla дає змогу: оптимізувати технологічні процеси; зменшити трудомісткість ремонту; скоротити витрати матеріалів; підвищити точність і якість виготовлення та відновлення деталей; забезпечити високу мобільність ремонтних бригад. У результаті підприємства отримують не лише скорочення термінів ремонту, а й підвищення надійності та конкурентоспроможності виробничих процесів.

[1] «Технології зварювання для виготовлення і ремонту металевих конструкцій із високоміцних сталей» / Позняков В. Д. та ін. Вісник Національної академії наук України, 2017.

[2] «Ремонтне зварювання» — навчальний посібник, курс «Реноваційні технології зварювання і споріднених процесів», Київський політехнічний інститут. 2013.

[3] «Ремонт пасажирських вагонів в умовах депо з дослідженням технології випробувань гальмових приладів» — магістерська робота Дубовенко К. Д., 2021.

[4] Проведення технічного діагностування металоконструкцій спеціального самохідного рухомого складу та основні типи невідповідностей, що виявляються» — Фомін О. В., Терещук М. П., Лісничий В. С., Черкашин О. П., 2025. Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки.

**УДК 656.212:656.223.2**

## **ІНТЕГРАЦІЯ РЕГІОНАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ УКРАЇНИ ДО ЄВРОПЕЙСЬКИХ ТРАНСПОРТНИХ КОРИДОРІВ ТА МОДЕРНІЗАЦІЯ ВАГОНОГО ПАРКУ**

### **INTEGRATION OF UKRAINE'S REGIONAL NETWORK INTO THE EUROPEAN TRANSPORT CORRIDORS AND MODERNIZATION OF THE ROLLING STOCK**

***І.В.Гузик<sup>1</sup>, В. О. Остафійчук,<sup>1</sup> С.Д. Урсатий<sup>1</sup>***

*<sup>1</sup>Чернівецький транспортний фаховий коледж (м. Чернівці)*

***I. V. Huzyk<sup>1</sup>, V. O. Ostafiychuk<sup>1</sup>, S.D. Ursatyi<sup>1</sup>***

*<sup>1</sup>Chernivtsi Vocational College of Transport (Chernivtsi)*

Інтеграція української регіональної транспортної мережі до європейських коридорів є ключовим чинником модернізації інфраструктури, посилення економічної співпраці та підвищення транзитного потенціалу держави. Україна володіє стратегічним географічним положенням, яке забезпечує найкоротші шляхові зв'язки між ЄС, Чорноморським регіоном, Кавказом та Азією. Це

зумовлює необхідність удосконалення транспортних систем відповідно до європейських стандартів.

У контексті інтеграції регіональної транспортної мережі України до європейських коридорів особливого значення набуває модернізація рухомого складу. Застосування сучасних пасажирських і вантажних вагонів дозволяє підвищити швидкість та безпеку перевезень, забезпечити відповідність вимогам європейських стандартів, зменшити енергоспоживання і продовжити міжремонтні цикли експлуатації. Нове покоління вагонів забезпечує кращу сумісність із технічними параметрами TEN-T, сприяє розвитку міжнародних логістичних зв'язків та підвищує конкурентоспроможність української залізничної інфраструктури на європейському ринку. Саме тому оновлення рухомого складу є невід'ємною складовою ефективною інтеграції України до загальноєвропейського транспортного простору.

Регіональні транспортні вузли, зокрема Західна Україна та Прикарпаття, мають важливе значення для інтеграції до міжнародних коридорів — передусім **коридору V (Трієст–Любляна–Будапешт–Львів)** та **коридору IX (Гельсінкі–Київ–Кишинів–Александруполіс)**. Розвиток цих напрямків дозволяє збільшити обсяги міжнародних вантажних і пасажирських перевезень, скоротити логістичні витрати та забезпечити високий рівень мобільності населення.

Наведена схема (Рис. 1) демонструє основні напрями інтеграції транспортних потоків між західним і східним регіонами України, що формують основу для включення до транс'європейської транспортної мережі TEN-T.

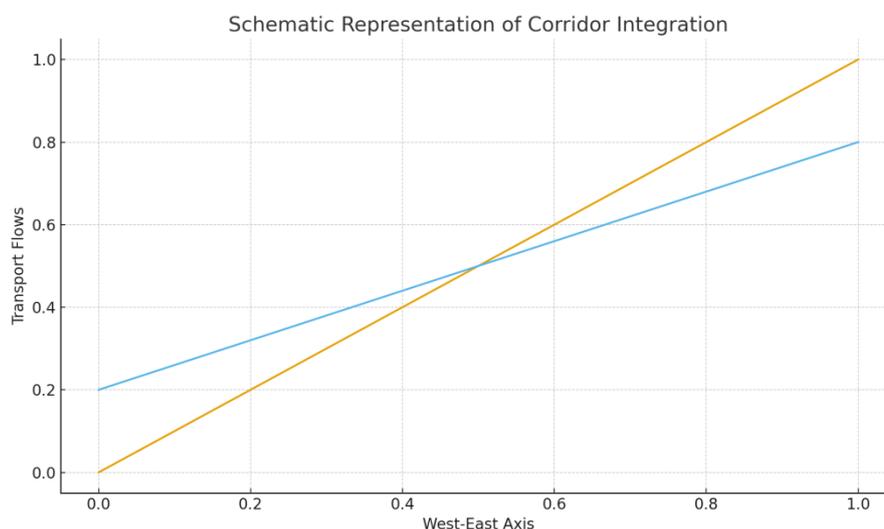


Рис. 1 Основні напрями інтеграції транспортних потоків

Графік (Рис. 2) ілюструє порівняльну важливість ключових європейських коридорів для України за умовною індексацією — найбільший потенціал має коридор IX, який забезпечує сполучення північ–південь.

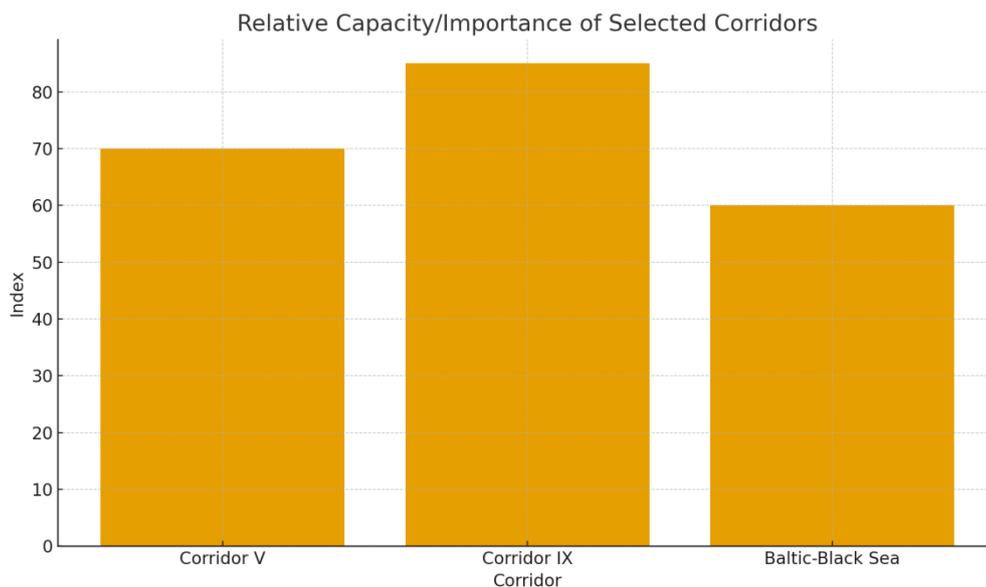


Рис. 2 Важливість транспортних коридорів для України

Інтеграція української мережі в європейську транспортну систему вимагає модернізації інфраструктури, гармонізації стандартів залізничної мережі, розвитку мультимодальних терміналів та впровадження сучасних систем управління рухом. Це сприятиме підвищенню безпеки перевезень, збільшенню пропускної здатності коридорів та економічному розвитку прикордонних регіонів.

Визначено, що впровадження сучасних технологій, гармонізація стандартів, розвиток мультимодальних терміналів і використання новітніх вагонів сприятимуть підвищенню швидкості, безпеки та конкурентоспроможності перевезень. Комплексне оновлення транспортної системи дозволить Україні повноцінно інтегруватися до мережі TEN-T, зміцнити економічну взаємодію з ЄС та посилити роль держави у міжнародних логістичних процесах.

[1] О. О. Мазуренко, А. В. Кудряшов., Транспортні системи та технології перевезень . Київ: 2019. 103 с

[2] С. А. Філатов, А. А. Єрусланову, Вплив міжнародних транспортних коридорів на розвиток інфраструктури України. Київ: 2025. 88 с

**ТЕХНОЛОГІЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ  
ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ З УРАХУВАННЯМ ЇЇ ІНТЕНСИВНОСТІ  
ВІДМОВ**

**DIAGNOSING OF PASSENGER CARS ELECTRONIC EQUIPMENT  
TAKING INTO ACCOUNT ITS FAILURE INTENSITY**

*к.т.н. В.Бондаренко, здобувачі: Р.Черняєв, Г. Цидибрага, А.Корабльова  
Український державний університет залізничного транспорту*

*PhD V.Bondarenko, students: R. Chernyaev, G. Tsydybraga, A.Korableva  
Ukrainian State University of Railway Transport*

Зменшення тривалості простою пасажирських вагонів та підвищення їх експлуатаційної готовності можливо досягти за рахунок скорочення часу на визначення працездатності електронного обладнання і пошуку місця відмови у його електронних компонентах. Проблема надійності пасажирських вагонів [1 – 3] на залізничному транспорті України потребує вдосконалення конструктивних рішень та діагностики апаратури керування [4– 6]. Важливим є проведення досліджень, розробки та впровадження прогресивних методик оцінки надійності, а також методів і засобів технічного діагностування обладнання пасажирських вагонів. Враховуючи це, авторами розроблено методику оцінки проектної надійності електронної апаратури пасажирських вагонів. За її допомогою проведено дослідження проектної надійності пристроїв автоматики, що входять до складу пультів керування пасажирських вагонів. Визначено, що до найбільш важливих пристроїв автоматики відносяться електронні блоки регулятора напруги генератора, реле частоти, регулювання заряду акумуляторної батареї та захисту.

На основі даної методики запропоновано технологію та алгоритм діагностування електрообладнання вагона. Вона враховує отримані розрахунком показники надійності електронних блоків вагона, час на діагностування компонентів та визначає послідовність діагностування електронної апаратури згідно розрахованого критерію пріоритетності.

Оптимальна послідовність перевірки електронних блоків, отримана за результатом розрахунку критерію пріоритетності  $K_i$  у порядку його зменшення: БРЧ ( $K_{БРЧ}=3.97675 \times 10^{-8}$ ); БРНГ ( $K_{БРНГ}=1.4194 \times 10^{-8}$ ); БЗ ( $K_{БЗ}=1.02562 \times 10^{-8}$ ); БРТ ( $K_{БРТ}=8.522 \times 10^{-9}$ ) (рис. 1).

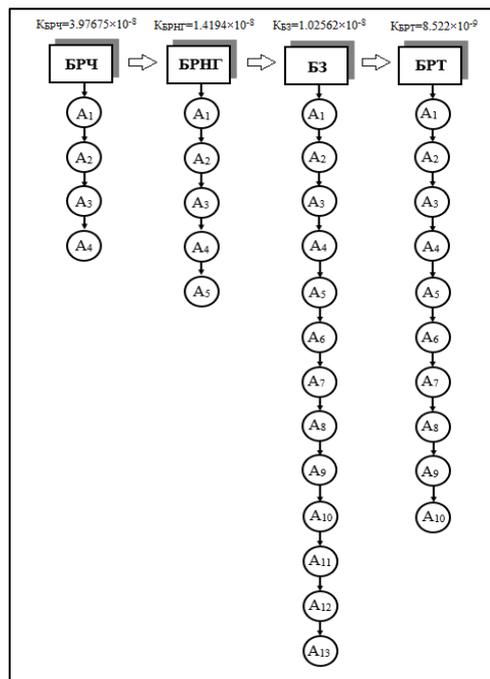


Рис.1 - Алгоритм діагностування електронних блоків вагона за критерієм пріоритетності

На рис. 1 зображено: БРЧ, БРНГ, БЗ, БРТ – електронні блоки, що підлягають діагностуванню;  $A_1 \div A_n$  – перелік параметрів електронних блоків, що підлягають контролю згідно з прийнятою методикою випробувань заводу-виробника. Електронний блок БРЧ з більшим значенням критерію пріоритетності має перевірятись першим, оскільки це забезпечує мінімальне математичне сподівання часу перевірок, далі йдуть БРНГ, БЗ та БРТ. Таким чином, упорядковуючи блоки за спаданням критерію пріоритетності  $K_i$ , одержимо мінімальне математичне сподівання часу перевірок. Це дозволяє ефективно організувати процес діагностики, скоротивши середній час пошуку відмов, зменшити час відновлення комплексу електрообладнання вагона та підвищити експлуатаційну готовність вагона у цілому.

1. Martynov, I., Gerlici, J., Trufanova, A., Petuhov, V., Shovkun, V., Kravchenko, K. "Development of a Procedure for Determining the Pre-Failure Condition of the Axle Boxes of Railway Rolling Stock", *Komunikácie - vedecké listy Žilinskej univerzity v Žiline*, Vol. 24 (1). P. B87-B93. <https://doi.org/10.26552/com.C.2022.1.B87-B93> (2022).
2. "Passenger cars. Diagnostics. Residual resource. Reliability": monograph / Yu.Ya. Vodyannikov, A.O. Sulym, P.O. Khozya, S.O. Stoletov, O.O. Melnyk, I.M. Lashkevych. Kremenichuk: State Enterprise "UkrNDIV" (2023).
3. Panchenko, S., Vatulia, G., Lovska, A., Ravlyuk, V., Elyazov, I., Huseynov, I. "Influence of structural solutions of an improved brake cylinder of a freight car of railway transport on its load in operation", *EUREKA Phys. Eng.*, Vol. 6, 45–55. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2022.002638> (2022).
4. Bondarenko, V., Skurikhin, D., Wojciechowski, J. "The Application of Lithium-Ion Batteries for Power Supply of Railway Passenger Cars and Key Approaches for System Development", *Smart and Green Solutions for Transport Systems*, Vol. 1091. P. 114-125. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-35543-2\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-030-35543-2_10) (2020).
5. Ravlyuk V., Derevianchuk I., Afanasenko I., Ravlyuk N. "Development of electronic diagnostic system for improving the diagnosis reliability of passenger car brakes", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(9(80)). P. 35–41. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.66007> (2016).
6. Bondarenko, V., Martynov, I., Skurikhin, D. "Mathematical modeling of oscillations wheelset as the basis of the method of acoustic control", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 7, P. 22-28. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.20088> (2014).

**ОЦІНКА ВТОМНОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ ГІБРИДНИХ КОНСТРУКЦІЙ  
ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ НА ОСНОВІ РЕЗУЛЬТАТІВ ЧИСЛОВОГО  
МОДЕЛЮВАННЯ**

**ASSESSMENT OF FATIGUE LIFE OF HYBRID FREIGHT CAR  
STRUCTURES BASED ON NUMERICAL MODELLING RESULTS**

*М.В. Фісун, аспірант, А.В. Рибін, канд.тех.наук  
Український державний університет залізничного транспорту*

*M.V. Fisun, PhD-student, A.V. Rybin, PhD (Tech.)  
Ukrainian State University of Railway Transport*

Працездатність вантажних вагонів безпосередньо залежить від втомної довговічності, оскільки під час експлуатації несучі конструкції зазнають багатоциклових знакозмінних навантажень. Впровадження легких матеріалів у гібридних конструкціях вимагає кількісної перевірки їхньої поведінки при циклічному навантаженні, а також аналізу концентрацій напружень у перехідних зонах «сталь — алюміній» або «сталь — композит» [1].

Метою дослідження є визначення впливу локальних змін матеріалів на втомну довговічність несучих елементів вагона-хопера на основі результатів моделювання, отриманих у попередньому етапі (оцінка НДС).

Для розрахунків використано напруження, визначені за методом скінченних елементів (ANSYS), з урахуванням спектра експлуатаційних навантажень відповідно до ДСТУ ГОСТ 33211:2017. Оцінювання виконано за критерієм мінливого напруження Goodman–Smith для сталевих елементів та модифікованою S–N моделлю (з урахуванням впливу середнього напруження циклу) для алюмінієвих сплавів і сендвіч-панелей [2].

У гібридному варіанті заміна сталевих балок на профілі зі сплаву 6061 призвела до зниження амплітуди напружень на 6–9%, що збільшило розрахунковий ресурс відповідних ділянок до  $1,3\text{--}1,5 \cdot 10^6$  циклів. У зоні з'єднання матеріалів спостерігалось локальне зростання коефіцієнта концентрації напружень до  $k_n = 1,25\text{--}1,35$ , що скорочує ресурс цих вузлів на 12–18% порівняно з однорідною сталевією конструкцією [3]. Використання полімерних сендвіч-панелей у настилі кузова зменшило коливальні навантаження, підвищивши втомну довговічність настилу на 20–25%, однак потребує обмеження температурних режимів та контролю деградації клеєвих з'єднань [4].

Отримані результати свідчать про те, що гібридні конструкції здатні забезпечити ресурс, сумісний із нормативними вимогами, за умови корекції геометрії перехідних зон, підсилення стикових елементів і застосування захисних систем проти корозії та деградації матеріалів. Ці дані формують

підґрунтя для оптимізації конструкції перед виготовленням фізичного прототипу.

[1] Cuartero J., Miravete A., Sanz R. Design and calculation of a railway car composite roof under concrete cube crash // *International Journal of Crashworthiness*. – 2011. – Vol. 16, Is. 1. – P. 41–47.

[2] Cascino A., Meli E., Rindi A. A strategy for lightweight designing of a railway vehicle car body including composite material and dynamic structural optimization // *Railway Engineering Science*. – 2023. – Vol. 31, Is. 9. – P. 340–350.

[3] Фомін О. В., Ловська А. О., Рибін А. В. Дослідження навантаження несучої конструкції вагона-хопера з дахом із композитного матеріалу // *Наука та прогрес транспорту*. – 2022. – № 1(97). – С. 70–76.

[4] Ватуля Г. Л., Ловська А. О., Краснокутський Є. С. Моделювання поперечної навантаженості контейнера зі стінами із сендвіч-панелей // *Розвиток транспорту*. – 2023. – № 3(18). – С. 50–57.

**УДК 629.485.6:519.71**

## **АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ВАГОНОРЕМОНТНИХ ПІДПРИЄМСТВ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРИЧИННО-НАСЛІДКОВОГО АНАЛІЗУ**

### **RELIABILITY ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT AT WAGONS REPAIR ENTERPRISES USING CAUSE-AND-EFFECT ANALYSIS**

*канд. техн. наук Д.І. Волошин, канд. техн. наук Л.В. Волошина  
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

*D.I. Voloshyn, PhD (Tech.), L.V. Voloshyna, PhD (Tech.)  
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Надійність технологічного обладнання є одним із ключових чинників забезпечення ефективності виробничих процесів вагоноремонтних підприємств. Відмова навіть одного критичного обладнання може спричинити призупинення ремонтних операцій, збільшення часу виробничого циклу та погіршення загальних показників продуктивності. Тому актуальним завданням є системне застосування методів аналізу надійності, серед яких особливої уваги заслуговує причинно-наслідковий аналіз, як інструмент структурованого виявлення та оцінювання факторів, що призводять до відмов. [1].

Причинно-наслідковий аналіз дозволяє встановити взаємозв'язки між потенційними причинами відмов та їх наслідками для технологічного процесу ремонту вагонів. На практиці функціонування та експлуатації вагоноремонтних підприємств вказаний аналіз доцільно використовувати для типового обладнання, наприклад колесотокарних верстатів, стендів діагностики буксових вузлів та колісних пар та ін. Таке обладнання характеризується значною інтенсивністю використання, складністю конструкції та підвищеними вимогами до безпеки, що робить його критичним для виробничого процесу ремонту вантажних вагонів.

Основною метою причинно-наслідкового аналізу є формування структурної моделі можливих відмов, визначення першопричин та оцінка ступеня їх впливу на результат виробничої діяльності. Для цього використовують логіко-

імовірнісні методи типу «дерево відмов» або «дерево наслідків», які забезпечують систематизацію даних та дають змогу обґрунтовано ухвалювати рішення відносно заходів з підвищення надійності технологічних процесів у часі [2].

Практичне застосування причинно-наслідкового аналізу передбачає отримання статистичних даних про відмови за певний період, формування переліку подій, що передували відмовам, побудову причинно-наслідкової моделі та її подальше вдосконалення на основі експертних оцінок. Особливо ефективним є комбінування цього методу з іншими інструментами – FMEA/FMECA, аналізом дерева відмов (FTA), ризик-орієнтованими підходами RCFA. Завдяки цьому підприємство одержує можливість не лише визначити імовірність настання відмов, але і оцінити їх критичність стосовно безпеки та економічних наслідків [3].

Результати причинно-наслідкового аналізу дають змогу оптимізувати планово-попереджувальні роботи, впроваджувати нові регламенти технічного обслуговування, підвищувати якість навчання персоналу, а також обґрунтовувати модернізацію обладнання. Наприклад, для стенду діагностики буксових вузлів аналіз може показати, що ключовими факторами відмов є забруднення системи змащення та некоректні режими випробування. Після цього підприємство може впровадити удосконалені фільтраційні системи, нові алгоритми контролю та системи попереджувальної сигналізації.

Причинно-наслідковий аналіз є універсальним і структурованим методом підвищення надійності технологічного обладнання вагоноремонтних підприємств. Він дозволяє:

- визначити причинні зв'язки між технічними, організаційними та людськими факторами;
- чітко формувати пріоритети технічного обслуговування обладнання;
- мінімізувати ризики аварійних відмов;
- підвищувати рівень безпеки та продуктивності.

Використання цього методу в комплексі з сучасними інструментами діагностики та управління створює основу для формування надійної, стабільної та економічно ефективною виробничою системи з ремонту вантажних вагонів.

[1] Волошин Д. І., Волошина Л. В. Використання причинно-наслідкового аналізу для забезпечення надійності виробничих процесів. 2-а міжнародна науково-технічна конференція «Прогресивні технології засобів транспорту», Харків, 05 - 06 грудня 2024 р.: Тези доповідей. —Харків: УкрДУЗТ, 2024. С.108-109.

[2] Волошин Д. І., Волошина Л. В. Особливості формування прогресивної системи управління виробничими процесами вагоноремонтних підприємств. 10-а науково-технічна конференція «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 20 - 22 листопада 2024 р.: Тези доповідей. —Харків: УкрДУЗТ, 2024. С.21-22.

[3] Волошин Д.І., Волошина Л.В. Управління виробничими ризиками в технологічних системах вагоноремонтних підприємств. Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології». Вип. 39. К.: ДУІТ, 2022. 22-29 с. DOI:10.32703/2617-9040-2022-39-3

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ  
ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ**

**IMPROVING THE EFFICIENCY OF VENTILATION SYSTEMS IN  
PASSENGER RAILCARS**

*К.т.н, А. В. Труфанова, к.т.н. В. О. Шовкун, аспірант, Д. В. Фрейліх,  
магістр А.С. Тельпук*

*<sup>1</sup>Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

*PhD (Tech.) A. V. Trufanova<sup>1</sup>, PhD (Tech.) V. O. Shovkun<sup>2</sup>, postgraduate  
student D. V. Freilikh<sup>3</sup>, Master A.S. Telpuk*

*<sup>1</sup>Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Тенденції розвитку пасажирських перевезень залізничним транспортом полягають у скороченні часу перебування на шляху поїздки з одночасним підвищенням рівня комфорту.

Сучасні пасажирські вагони, як правило, обладнані моноблочними кондиціонерами і мають мінімальну кількість віконних стулок (фрамуг). Вагони, призначені для експлуатації на швидкісних лініях, виготовляються лише з глухими вікнами у пасажирських купе [1].

Встановлення таких вікон та вікон з кутом відкриття не більше 20...25 градусів викликано такими причинами:

- для зниження надходження пилу до приміщення вагона із зовнішнім повітрям через відкриті фрамуги (зміст пилу в повітрі не повинен перевищувати санітарних норм) [2];
- для скорочення теплових втрат під час роботи кондиціонера в режимах охолодження та нагрівання [3];
- для зниження собівартості (вартість глухих вікон значно нижча);
- для спрощення технологічних процесів складання (елементи вікон, що пересуваються, пред'являють підвищені вимоги до точності виготовлення металоконструкції вагона та якості монтажу вікна);
- для зменшення рівня звукової хвилі від зустрічного поїзда, що проходить, і при проїзді тунелем;
- для розширення можливості дизайну конструкції вагона (елементи фрамуг, що пересуваються, важче піддаються дизайнерському опрацюванню).

Таким чином, у найближчій перспективі можна припустити повне вилучення фрамуг, що відкриваються, в приміщеннях вагона. У умовах зростає роль кліматичної установки як системи життєзабезпечення. Системи керування кліматичної установки вагона повинні не тільки забезпечувати нормативи по мікроклімату, а й передбачати оперативну діагностику функціонування основних вузлів. Поєднання функціональної діагностики та виконання на основі її профілактичних (ремонтних) робіт дозволять підвищити якість роботи

кліматичної установки та продовжити ресурс роботи дорогого обладнання в умовах реальної експлуатації.

При побудові системи керування вентиляцією доцільно використати принцип авторегулювання. Він полягає у створенні зворотного зв'язку між необхідним параметром (в даному випадку - надлишковий тиск повітря) та вхідними керуючими сигналами. Система авторегулювання передбачає встановлення у повітроводах спеціальних датчиків - диференціальних мікроманометрів з аналоговим чи цифровим виходом.

Застосування системи авторегулювання забезпечить:

- підтримка продуктивності вентиляції на необхідному заданому рівні при зміні в процесі експлуатації опору повітряному потоку (накопичення пилу в повітряному фільтрі);
- підтримання подачі необхідної кількості зовнішнього повітря, як наслідок, вміст CO<sub>2</sub> у пасажирських приміщеннях не повинен перевищувати граничних норм [2];
- вміст пилу в обробленому повітрі не досягне граничних значень (блокування при встановленні фільтра з пошкодженим фільтруючим елементом або не відповідного типу) [4];
- вироблення інформаційних сигналів рівня реальної продуктивності системи вентиляції (наприклад, рівня продуктивності щодо норми);
- вироблення сигналів на блокування при некоректній експлуатації (відсутність фільтра, повне забруднення фільтра, різка втрата герметичності повітропроводу, механічні дефекти робочого колеса вентилятора тощо);
- вироблення сигналу на аварійне відключення електрокалорифера за відсутності, або за неприпустимо низького повітряного натиску;
- при необхідності вироблення сигналу для лічильника з обліку ресурсу роботи нового фільтруючого елемента, ресурсу роботи фільтруючого елемента після його регенерації [4].

1 Приходько В. И. Особенности развития конструкций установок кондиционирования воздуха пассажирских вагонов / В. И. Приходько, О. А. Шкабров, В. И. Коляденко, Г. И. Игнатов, В. А. Солдатов // Вісник ДНУЗТ, № 7, 2005. - С. 61-66.

2 ДСП 7.7.2.015-99. Державні санітарні правила та норми, гігієнічні нормативи. Гігієна транспорту ДСП 7.7.2.015-99. Введені в дію Постановою Міністерства охорони здоров'я України 09.02.1999.

3 ДСТУ 4049-2001 Вагони пасажирські магістральні локомотивної тяги. Вимоги безпеки. Зі Зміною № 1 (ПС № 4-2009).

4 Long-term performance of fibrous ventilation/air-cleaner filters for particle removal — журнал Building and Environment, 2019. ScienceDirect DOI: 10.1016/j.buildenv.2019.106222 — <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106222>

**ОЦІНЮВАННЯ МІЦНІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕСУЧОЇ  
КОНСТРУКЦІЇ КУЗОВА СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО НАПІВВАГОНА**

**ASSESSMENT OF THE STRENGTH CHARACTERISTICS OF THE  
STRUCTURAL STRUCTURE OF THE BODY OF A SPECIALIZED SEMI-  
TRAILER**

*к. т. н. А. В. Труфанова<sup>1</sup>, асп. М. М. Дмитренко<sup>1</sup>, студ. І. В. Кравченко<sup>1</sup>  
асп. О.А. Жерновенков<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

*A.Trufanova<sup>1</sup> PhD (Tech), M. Dmitrenko<sup>1</sup> graduate student (Tech),  
A. Gernovenkov<sup>1</sup> graduate student, I. Kranchenko<sup>1</sup> student (Tech)  
<sup>1</sup>Ukrainian state university of railway transport (Kharkiv)*

Сучасні умови експлуатації вантажного рухомого складу зумовлюють підвищені вимоги до надійності та довговічності несучих систем вагонів. Значні статичні та динамічні навантаження, що виникають під час транспортування масових вантажів, вимагають детального аналізу роботи металоконструкцій кузова з використанням чисельних методів розрахунку. Особливої актуальності набувають дослідження спеціалізованих напіввагонів, які експлуатуються без захисту вантажу від атмосферних впливів і піддаються інтенсивним силовим впливам під час механізованого розвантаження.

У роботі розглянуто спеціалізований чотиривісний напіввагон із глухим типом кузова, призначений для перевезення сипких і великогабаритних вантажів з використанням вагоноперекидачів. Конструкція вагона забезпечує перевезення вантажів масою до 71 т та орієнтована на експлуатацію в умовах підвищених навантажень на елементи несучої системи.

Вагон являє собою складну інженерну систему, що включає кузов, ходову частину, гальмівне обладнання та автозчепний пристрій. Основні силові елементи зосереджені в несучій конструкції кузова, до складу якої входять рама та стінові панелі. Рамна частина сформована із системи зварних поздовжніх і поперечних балок, що забезпечують сприйняття вертикальних і поздовжніх навантажень та формують опорну основу підлоги.

Бічні поверхні кузова виконані у вигляді каркасно-обшивної конструкції, де жорсткість досягається поєднанням обв'язок, стояків і профільованої обшивки. Торцеві частини мають підсилений каркас із набором стояків та елементів просторового підсилення, закритих листовою обшивкою підвищеної товщини. Для виготовлення несучих елементів використано низьколеговані конструкційні сталі, що характеризуються підвищеною міцністю та зварюваністю.

Аналіз міцнісних характеристик виконано із застосуванням методу скінчених елементів. Для цього сформовано узагальнену розрахункову схему у

вигляді комбінованої пластинчасто-стрижневої моделі. У моделі використано одномірні елементи для відтворення роботи балкових і каркасних складових та двовимірні елементи для опису поведінки обшивок і настилу.

З метою зниження обчислювальної складності окремі допоміжні вузли та агрегати, що не здійснюють визначального впливу на загальну жорсткість кузова, у моделі не враховувалися. Контактні та опорні вузли у зоні шкворенів подано в еквівалентному вигляді шляхом коригування геометричних параметрів відповідних елементів. З'єднання між основними складовими каркаса змодельовано з урахуванням підвищеної жорсткості та ексцентриситету відносно обшивки, що дозволяє адекватно відобразити реальну роботу конструкції.

Отримана чисельна модель забезпечує можливість дослідження напружено-деформованого стану несучої системи напіввагона за різних схем навантаження та може бути використана як інструмент для подальшої оптимізації конструкції, оцінювання ресурсу та підвищення експлуатаційної надійності спеціалізованих вантажних вагонів.

[1] Напіввагон з глухим кузовом мод. 12-1592 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://vagon.by/model/12-1592>

[2] Визняк, Р. И. Анализ поврежденных кузовов полувагонов. Совершенствование конструкционных узлов конструкции полувагона / Р. И. Визняк, И. В. Чепурченко, В. В. Шевченко // Сб. науч. работ УкрГАЗТ (ХИИТ). – Харьков, 2013. – Вып. 127. – С. 117 – 124.

[3] Some Aspects of the Definition of Empty Cars Stability from Squeezing their Longitudinal Forces in the Freight Train / A. A. Shvets [et al.] // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 4 (58). – С. 175–189. DOI: 10.15802/stp2015/49281.

[4] Головка В.Ф. Запобігання пошкоджень піввагонів при їх розвантаженні // Міжвуз.зб.наук.праць / ХарДАЗТ. - 2000. – Вип.. 41. – С. 51-54.