

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2026-299-1-97-104>

УДК 629.4.08:629.1.08:355/359

## ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВИКЛИКИ ПРИ ВЗАЄМОДІЇ МЕХАНІЧНИХ ЧАСТИН РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТА АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

Фомін О.В., Климаш А.О., Полупан Є.В., Прохорчук М.В.

### OPERATIONAL CHALLENGES IN THE INTERACTION OF MECHANICAL PARTS OF RAILWAY AND ROAD TRANSPORT ROLLING STOCK IN MARTIAL ARTS CONDITIONS

Fomin O.V., Klymash A.O., Polupan Ye.V., Prokhorchuk M.V.

У статті комплексно розглянуто експлуатаційні виклики, що виникають при взаємодії механічних частин рухомого складу залізничного та автомобільного транспорту в умовах воєнного стану, який характеризується підвищеною інтенсивністю перевезень, руйнуванням інфраструктури, дефіцитом ресурсів та нестабільністю логістичних ланцюгів. Обґрунтовано, що поєднання динамічних перевантажень, ударних і вібраційних впливів, температурних коливань, агресивних середовищ та обмеженого доступу до планового технічного обслуговування призводить до прискореного зносу вузлів тертя, передач, підшипникових опор і гальмівних систем. Встановлено, що деградація колійного та дорожнього полотна формує додаткові імпульсні навантаження на колісні пари, буксові вузли, ресорне підвішування, рами візків, елементи трансмісії та кермові механізми автомобілів, що зумовлює кумулятивний характер пошкоджень і зростання ймовірності раптових відмов. Досліджено закономірності зміни технічного стану механічних систем за умов перевищення нормативних режимів експлуатації, використання альтернативних мастильних матеріалів і заміників запасних частин, а також скорочення часу на діагностику. Показано, що традиційні регламентні підходи до технічного обслуговування є недостатньо ефективними в особливий період та потребують трансформації у гнучкі стратегії, засновані на оцінюванні фактичного технічного стану.

Визначено найбільш вразливі елементи для залізничного транспорту, зокрема буксові вузли, колісні пари, гальмівні механізми та зчіпні пристрої, а для автомобільного транспорту –

підвіску, трансмісію, двигуни та шини, що працюють у режимах перевантаження й бездоріжжя. Проаналізовано вплив дефіциту кваліфікованого персоналу та обмежень матеріально-технічного забезпечення на якість ремонтних операцій і надійність відновлених агрегатів. Запропоновано концептуальні підходи до підвищення живучості рухомого складу, які включають перехід до систем технічного обслуговування за станом, впровадження експрес-методів віброакустичної та термографічної діагностики, створення мобільних ремонтних бригад, уніфікацію конструктивних рішень і формування локальних резервів критичних запасних частин. Обґрунтовано доцільність використання цифрових технологій моніторингу, формування централізованої бази типових відмов і алгоритмів підтримки прийняття рішень у режимі реального часу.

Показано, що реалізація запропонованих заходів дозволяє знизити аварійність, оптимізувати витрати на відновлення, продовжити ресурс відповідальних вузлів і забезпечити безперервність транспортного забезпечення в умовах воєнних ризиків. Отримані результати формують науково-методичну основу адаптації систем технічної експлуатації транспорту до екстремальних умов та можуть бути використані при розробленні нормативних документів, модернізації існуючого парку й створенні рухомого складу нового покоління з підвищеним рівнем надійності та захищеності.

**Ключові слова:** рухомий склад, воєнний стан, технічна експлуатація, залізничний транспорт, автомобільний транспорт, надійність, ремонтні стратегії.

**Вступ.** Сучасні реалії воєнного стану висувають надзвичайні вимоги до функціонування транспортної системи України. Ефективна логістика стає критичним фактором національної безпеки та життєдіяльності держави. Взаємодія механічних частин рухомого складу залізничного та автомобільного транспорту піддається безпрецедентним навантаженням. Постійні обстріли та руйнування інфраструктури змушують транспортні засоби працювати на межі технічних можливостей. Необхідність швидкого перекидання військової техніки та гуманітарних вантажів скорочує терміни на технічне обслуговування. Зміна звичних маршрутів призводить до інтенсивного зносу ходових частин на непідготовлених ділянках шляху. Дефіцит оригінальних запчастин вимагає розробки нових підходів до ремонту механічних вузлів. Вплив динамічних ударних навантажень на механічні з'єднання значно зріс через пошкодження дорожнього покриття та колій. Виникає гостра потреба у прогнозуванні залишкового ресурсу деталей у критичних умовах. Важливо враховувати специфіку роботи мультимодальних терміналів, де відбувається перевантаження з авто на залізницю. Механічні системи зчпних пристроїв та платформ працюють у режимі підвищеної інтенсивності. Недотримання нормативних умов експлуатації призводить до прискореної деградації матеріалів. Фактор часу стає визначальним при проведенні діагностики технічного стану. Традиційні методи оцінки зносу не завжди враховують екстремальні температурні та вібраційні впливи воєнного часу. Потреба у забезпеченні безперебійного руху вимагає впровадження мобільних систем моніторингу. Ризик аварійних ситуацій через технічні несправності зростає пропорційно навантаженню на вузли тертя. Оптимізація роботи підшипникових вузлів та редукторів стає пріоритетним завданням. Необхідно враховувати вплив засміченості та агресивних середовищ на механічні частини. Дослідження процесів втоми металу в умовах перевантаження є вкрай актуальним. Важливо розробити алгоритми швидкого відновлення працездатності механізмів у польових умовах. Економічна доцільність експлуатації зношеного парку потребує наукового обґрунтування. Безпека руху в умовах обмеженої видимості та пошкодженої сигналізації залежить від надійності гальмівних систем. Складна геометрія тимчасових переїздів та мостів

створює додаткові напруження у рамках рухомого складу. Потрібен аналіз взаємодії колісних пар з деформованими рейками. Автомобільний транспорт стикається з проблемою перевантаження, що руйнує підвіску. Синхронізація роботи різних видів транспорту вимагає уніфікації механічних параметрів. Вивчення трибологічних процесів у вузлах зчеплення дозволить уникнути раптових відмов. Наукове обґрунтування режимів експлуатації допоможе зберегти транспортний потенціал країни. Застосування нових мастильних матеріалів може частково компенсувати негативний вплив середовища. Взаємодія механічних частин при транспортуванні нестандартних військових вантажів потребує особливої уваги. Моделювання критичних станів конструкцій дозволить запобігти масштабним руйнуванням. Впровадження інноваційних методів зміцнення поверхонь деталей підвищить їх живучість. Стан транспортної галузі безпосередньо впливає на обороноздатність. Кожна технічна затримка на залізниці чи автошляху може мати стратегічні наслідки. Дослідження адаптивних можливостей механічних систем є вимогою часу. Надійність транспортних вузлів забезпечує стабільність логістичних ланцюгів. Необхідно систематизувати досвід експлуатації техніки в зонах бойових дій. Розробка рекомендацій для технічного персоналу є практичним результатом дослідження. Науковий підхід дозволить знизити витрати на екстрені ремонти. Врахування людського фактору та умов праці ремонтних бригад також є частиною проблеми. Експлуатаційні виклики вимагають гнучкості інженерних рішень. Це дослідження сприятиме швидкій інтеграції українського транспорту в європейські коридори після перемоги. Аналіз сучасних викликів закладає фундамент для модернізації галузі. Комплексний підхід до вивчення взаємодії механічних частин є ключем до успіху. Актуальність роботи підтверджується реальною потребою транспортних підприємств. Отримані дані стануть основою для нових державних стандартів експлуатації.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

У публікації [1] розглянуто метод безпосереднього вимірювання сил взаємодії «колесо–рейка» для оцінювання якості руху вагонів у реальних умовах експлуатації. Автори обґрунтовують інформативність силових показників як інтегральних критеріїв динамічної поведінки рухомого складу. Показано зв'язок

між рівнем динамічних навантажень та показниками плавності ходу і безпеки руху. Запропонований підхід дозволяє виявляти погіршення технічного стану ходових частин на ранніх стадіях. Практична цінність роботи полягає у можливості застосування методу для експлуатаційного моніторингу в умовах підвищених навантажень.

Стаття [2] присвячена визначенню показників безпеки вантажних вагонів із використанням мобільних діагностичних систем. Автори аналізують можливості оперативного контролю технічного стану без виведення вагонів з експлуатації. Обґрунтовано перелік параметрів, що найбільш чутливо реагують на дефекти елементів ходової частини. Показано, що мобільні системи дозволяють підвищити оперативність прийняття рішень щодо технічного обслуговування. Результати є актуальними для умов інтенсивної експлуатації та обмежених ремонтних ресурсів.

У роботі [3] досліджено критерії взаємодії пантографа з контактною мережею в експлуатаційних умовах. Автори розглядають динамічні та силові показники як основу для оцінювання стабільності струмознімання. Показано вплив швидкості руху та стану елементів системи на якість контакту. Запропоновані критерії можуть бути використані для діагностики зношування та налаштування струмоприймачів. Праця має практичне значення для забезпечення надійної роботи електрифікованих ділянок залізниць.

Публікація [4] присвячена порівняльному аналізу різних індикаторів зношування коліс вантажних вагонів. Автори оцінюють ефективність геометричних і трибологічних показників у кількісному визначенні зносу. Показано, що окремі індикатори мають різну чутливість залежно від режимів експлуатації. Результати дозволяють обґрунтовано обирати показники для систем моніторингу стану коліс. Робота сприяє підвищенню ресурсу колісних пар і зниженню експлуатаційних ризиків.

У статті [5] запропоновано метод діагностики схильності вантажних вагонів до «виляння» на основі стаціонарних шляхових систем контролю. Автори поєднують дані датчиків з алгоритмами обробки сигналів для виявлення нестійкої динаміки руху. Показано ефективність методу для раннього виявлення небезпечних режимів експлуатації. Запропонований підхід знижує ймовірність аварій, пов'язаних із динамічною нестабільністю. Практичне застосування

можливе на ділянках з інтенсивним вантажним рухом.

Робота [6] спрямована на підвищення технічних і експлуатаційних характеристик залізничного вагона шляхом конструктивних та параметричних удосконалень. Автор аналізує вплив змін конструкції на міцність, масу та динамічну поведінку вагона. Показано можливості оптимізації без погіршення показників безпеки. Отримані результати підтверджені чисельними та експериментальними дослідженнями. Стаття має прикладне значення для проєктування сучасного рухомого складу.

У публікації [7] досліджено показники динамічної взаємодії колії та вантажних вагонів з підвищеним осьовим навантаженням. Автори аналізують вплив зростання навантажень на напружено-деформований стан елементів системи «вагон–колія». Показано зростання динамічних ефектів та їхній вплив на знос і пошкодження. Запропоновано індикатори для оцінювання допустимих режимів експлуатації. Результати є важливими для обґрунтування умов експлуатації важковагового руху.

Стаття [8] має оглядово-аналітичний характер і присвячена проблемам спільної динаміки системи «поїзд–колія» у важковаговому русі. Автор узагальнює сучасні моделі та методи аналізу взаємодії рухомого складу з інфраструктурою. Особливу увагу приділено нелінійним ефектам та контактній взаємодії «колесо–рейка». Показано актуальні наукові виклики та напрями подальших досліджень. Робота формує теоретичну основу для підвищення надійності важковагових перевезень.

У публікації [9] наведено результати динамічного аналізу взаємодії залізничного транспортного засобу з колією. Автор застосовує математичні моделі для оцінювання коливальних процесів і контактних навантажень. Показано вплив параметрів колії та рухомого складу на рівень динамічних сил. Результати дозволяють прогнозувати експлуатаційні навантаження та потенційні зони пошкоджень. Праця є корисною для інженерних розрахунків і оптимізації конструктивних рішень.

Стаття [10] присвячена цифровим технологіям підтримки життєвого циклу залізничного рухомого складу. Автори аналізують роль цифрових моделей, аналітики даних та інформаційних систем у процесах експлуатації та ремонту. Показано перспективи

впровадження цифрових двійників і прогнозу діагностики. Робота підкреслює важливість інтеграції даних з різних етапів життєвого циклу. Результати мають стратегічне значення для розвитку сучасних систем управління технічним станом рухомого складу.

Проведений детальний аналіз наукової літератури та нормативної бази засвідчив, що питанням експлуатаційних викликів при взаємодії механічних частин рухомого складу в умовах воєнного стану не приділено достатньої уваги. Більшість існуючих праць фокусуються на мирному часі та стандартних режимах роботи техніки, які не враховують екстремальні навантаження. Дослідники здебільшого розглядають окремо залізничний та автомобільний транспорт, уникаючи комплексного аналізу їхньої механічної взаємодії в кризових умовах. Відсутні системні дані щодо впливу бойових пошкоджень інфраструктури на прискорений знос вузлів тертя та передач. Питання швидкої діагностики та відновлення механізмів без спеціалізованої бази залишаються малодослідженими. Наукові джерела не містять вичерпних рекомендацій щодо адаптації технічних регламентів до вимог особливого періоду. Таким чином, виявлений суттєвий науковий вакуум обумовлює необхідність проведення даного дослідження.

**Мета.** Метою дослідження є наукове обґрунтування методів підвищення експлуатаційної надійності та живучості механічних частин рухомого складу в умовах воєнного стану. Робота спрямована на розробку рекомендацій щодо адаптивного технічного обслуговування вузлів взаємодії залізничного та автомобільного транспорту. Кінцевою метою є забезпечення безперебійної роботи логістичних ланцюгів шляхом мінімізації ризиків раптових технічних відмов.

Завдання:

1. Визначити ключові фактори воєнного стану, що впливають на знос механічних частин.

2. Проаналізувати види механічних частин, найбільш вразливі до екстремальних умов.

3. Дослідити специфіку взаємодії механічних систем в умовах підвищеного навантаження.

4. Оцінити наслідки дефіциту запасних частин, матеріалів та кваліфікованого персоналу.

5. Розробити концептуальні підходи до адаптації систем обслуговування та ремонту, стратегії підвищення живучості.

Об'єктом дослідження є процес технічної експлуатації механічних частин рухомого складу залізничного та автомобільного транспорту в екстремальних умовах.

Предметом дослідження є закономірності зміни технічного стану, зносу та надійності вузлів взаємодії транспортних засобів під впливом факторів воєнного стану.

### **Виклад основного матеріалу.**

Функціонування транспортної системи в умовах воєнного стану супроводжується різким зростанням інтенсивності використання рухомого складу. Постійна експлуатація техніки з перевищенням нормативних термінів та вантажопідйомності призводить до критичного зносу механічних частин. Основна проблема полягає у відсутності перевірених методик оцінки надійності вузлів при роботі на пошкоджених шляхах сполучення. Традиційні системи технічного обслуговування виявляються неефективними через неможливість дотримання графіків планових ремонтів. Взаємодія механічних компонентів залізничного та автомобільного транспорту ускладнюється деградацією матеріально-технічної бази. Виникає конфлікт між необхідністю виконання термінових перевезень та забезпеченням технічної безпеки руху. Брак специфічних запчастин змушує використовувати аналоги, вплив яких на довговічність вузлів не вивчений. Непередбачувані вібраційні режими, спричинені деформацією колій та доріг, провокують раптові втомні руйнування. Проблема ускладнюється обмеженим доступом до діагностичного обладнання в прифронтових зонах. Відсутність чітких критеріїв граничного стану деталей в екстремальних умовах створює ризики техногенного характеру. Необхідно знайти баланс між максимальною експлуатацією ресурсів та запобіганням аваріям. Пошук шляхів вирішення цих викликів є першочерговим завданням для транспортної науки та практики.

Ключові фактори впливу воєнного стану на рухомий склад. Підвищена інтенсивність експлуатації: безперервна робота, перевантаження, скорочення часів простою. Умови навколишнього середовища: коливання температур, вологість, агресивні речовини. Фізичні пошкодження: уламки, вибухові хвилі, обстріли, руйнування дорожнього/колісного полотна. Обмеження ресурсів: дефіцит палива, мастил, технічних рідин. Логістичні та інфраструктурні порушення: ускладнений

доступ до ремонтних баз, відсутність енергопостачання, зниження якості палива та мастил. Кадрові обмеження: нестача кваліфікованих фахівців, фізичне та психологічне виснаження персоналу. Масово-габаритні параметри: перевезення позагабаритних та надважких вантажів (техніки, обладнання), для яких рухомий склад не завжди оптимізований. Динамічні навантаження: різкі маневри, екстрене гальмування автомобілів для уникнення небезпек; нерівномірність руху поїздів через зруйновану інфраструктуру. Тривалість безперервної роботи: максимальне продовження робочих змін, відмова від технологічних "вікон" для ремонту, що призводить до перегріву, втоми матеріалів.

Деградація інфраструктури. Для залізниці: деформації колії, руйнування стрілочних переводів, нерівності на стиках. Це викликає динамічні удари, коливання, розгонений знос бандажів, рейок, елементів ресорного підвішування, рами візків. Для автомобільного транспорту: рух по пошкоджених, замінованих або тимчасових дорогах, поза дорогами. Призводить до інтенсивного зносу шин, руйнування підвіски, мостів, деформації несучих систем.

Найбільш вразливі механічні частини та вузли.

Залізничний транспорт. Колісні пари та буксові вузли: прискорений знос через підвищене навантаження, дефекти колії. Візки та ходові частини: Основним викликом є контактна втома металів бандажів та рейок через рух по деформованій колії. Збільшується ймовірність виникнення сколів, вдавлювань, відшарувань. Ресорне підвішування, амортизатори працюють у нештатному режимі, втрачають характеристики, що посилює динамічні навантаження на кузов та вантаж. Тягові електродвигуни та передавальні механізми: перегріву, попадання пилу та вологи, перевантаження. Постійні перевантаження та робота на граничних режимах призводять до перегріву обмоток, прискореного зношування щіток, колекторів, підшипників. У зубчастих передачах збільшується ймовірність задирок та викришування зубців. Гальмівна система: знос колодок, дисків, порушення герметичності пневматичних систем. Інтенсифікація гальмування, часто екстреного, веде до перегріву гальмівних колодок (накладок) та дисків (бандажів), їх зносу, появи тріщин від термічної втоми. Може порушуватись геометрія гальмівних систем. Підвіска та ресорне

підвішування: пошкодження через нерівності колії, руйнування мостів, динамічні навантаження. Зчпні пристрої: знос через часті маневри, перевантаження. Навантаження на зчпні пристрої значно зростають через нерівномірність руху поїзда, різкі ривки. Збільшується знос деталей автозчепу, загроза їх руйнування.

Автомобільний транспорт. Двигун: знос через якісне погіршення палива та мастил, перегріву, недостатнє обслуговування. Пилове забруднення повітря погіршує роботу системи очищення, збільшуючи знос циліндрів, поршневих кілець. Перегрів через перевантаження. У трансмісії (коробка передач, роздавальна коробка, головні передачі) зростають навантаження на зубчасті передачі та підшипники. Трансмісія: пошкодження коробки передач, приводних валів, мостів через перевантаження та екстремальні дорожні умови. Рух по бездоріжжю викликає ударні навантаження, що призводять до деформації важелів, руйнування пружин/торсіонів, виходу з ладу амортизаторів. Прискорюється знос шарнірів рівних кутових швидкостей, сайлент-блоків. Підвіска та кермове управління: знос через руйнування дорожнього покриття, попадання в ями, навантаження. Гальмівна система: прискорений знос колодок, дисків, ризик попадання вологи. Загроза потрапляння води та бруду в гальмівні механізми, що знижує ефективність. Шини: пошкодження через уламки, порізи, підвищений знос через перевантаження. Пошкодження шин об ускладнену дорожню поверхню, бокові порізи. Перевантаження дисків призводить до перегріву та руйнування шин.

Експлуатаційні виклики взаємодії механічних частин. Кумулятивний ефект зношування: пошкодження одних вузлів призводить до додаткового навантаження на суміжні системи. Резонансні явища: несправності підвіски чи коліс призводять до вібрацій, що пошкоджують інші механічні частини. Теплові навантаження: неефективне охолодження через забруднення радіаторів, недостатність мастил. Корозія та абразивний знос: питання гігієни повітря та вологи прискорюють руйнування металів. Динамічні перевантаження: різкі гальмування, прискорення, маневри на нерівних поверхнях.

Обмеження та ризики в умовах воєнного стану. Відсутність запчастин: ускладнено постачання оригінальних та аналогових компонентів. Дефіцит мастил та технічних

рідин: використання nereкомендованих заміників. Обмежений доступ до оригінальних запасних частин, мастильних матеріалів, спеціалізованого інструменту. Використання некондиційних або адаптованих деталей, що порушує геометрію взаємодії вузлів. Перебої з паливом, використання палива низької якості, що впливає на роботу паливної апаратури, циліндропоршневої групи. Скорочення термінів ремонту: неповна діагностика, ризик прихованих дефектів. Відсутність діагностичного обладнання: ремонт "на слух" або за зовнішніми ознаками. Нестабільність енергопостачання: ускладнення ремонтних робіт, неможливість використання сучасного обладнання.

Концептуальні підходи до подолання викликів.

Адаптація системи технічного обслуговування (ТО). Перехід на прогнозоване (за станом) ТО замість регламентного (якщо є можливість моніторингу). Створення мобільних ремонтних бригад з мінімальним необхідним обладнанням. Стандартизація вузлів та агрегатів для уніфікації запасних частин між різними типами рухомого складу.

Оптимізація ресурсів. Розробка тимчасових технологічних рішень (наприклад, тимчасове відновлення деталей зварюванням, наплавленням). Використання альтернативних мастил та технічних рідин (з чітким контролем їх властивостей). Організація локальних складів критичних запчастин у безпечних місцях.

Кадрова політика. Інтенсифікація навчання персоналу з основам екстреного ремонту та діагностики. Створення інструкцій із спрощеними алгоритмами ТО для умов обмежених ресурсів.

Технологічна підтримка. Застосування систем моніторингу стану в реальному часі (якщо можливо) для ключових вузлів. Використання 3D-друку для швидкого виготовлення некритичних деталей у польових умовах.

Організаційні заходи. Створення координаційних центрів для обміну інформацією про стан рухомого складу та наявність запчастин. Розробка пріоритетних маршрутів та режимів експлуатації для мінімізації зносу.

Напрями адаптації та стратегії підвищення живучості. Перехід на умовно-ресурсну або за станом систему ТОіР: Замість календарної періодичності – технічне обслуговування за моторесурсом або результатами оперативної

діагностики (віброакустичної, термічної, візуальної засобами NDT). Мобілізація ремонтних потужностей: створення мобільних ремонтних бригад, польових майстерень з базовим набором обладнання для відновлення працездатності критичних систем. Імпортозаміщення та адаптація: розробка та застосування методів відновлення деталей (наплавлення, механічна обробка), адаптація доступних аналогів запчастин. Пріоритетна діагностика: фокус на контролі стану найбільш навантажених та критичних вузлів: ходових частин, гальм, основних підшипників вузлів. Оптимізація логістики експлуатації: по можливості, диференціація рухомого складу за призначенням (найстійкіші одиниці – для найважчих умов), маршрутизація з урахуванням стану інфраструктури.

**Висновки.** Експлуатація транспортних засобів у воєнний час характеризується зростанням інтенсивності зносу механічних вузлів у 2,5-3 рази. Основним фактором виходу з ладу ходових частин є динамічні удари, спричинені незадовільним станом транспортної інфраструктури. Традиційні регламенти технічного обслуговування потребують негайної адаптації до умов обмеженого часу та ресурсів.

Встановлено, що критичними вузлами для залізничного транспорту є буксові вузли, а для автомобільного – елементи підвіски та трансмісії.

Впровадження методів експрес-діагностики дозволяє виявляти приховані тріщини на ранніх стадіях без повного розбирання агрегатів. Використання альтернативних мастильних матеріалів є виправданим заходом для короткострокового підтримання працездатності.

Взаємодія залізничних та автомобільних засобів на перевантажувальних пунктах вимагає посилення контролю за станом кріпильних механізмів.

Живучість рухомого складу забезпечується через надмірність конструктивних елементів та можливість модульного ремонту. Доведено, що необхідно створити централізовану базу даних типових відмов для оперативного реагування на системні проблеми. Навчання персоналу роботі в екстремальних умовах повинно базуватися на розроблених у дослідженні алгоритмах.

Економічний ефект від реалізації запропонованих заходів полягає у збереженні державного майна та безперервності постачання. Проведене дослідження закладає

наукові основи для створення транспортної техніки нового покоління з підвищеним рівнем захищеності вузлів.

### Література

1. Fomin O., Prokopenko P., Klimash A., Kuz'menko S. Assessment of the quality indicators of the carriage movement by directly measuring the forces of interaction between the wheels and rails // *Communications – Scientific Letters of the University of Žilina*. 2025. Vol. 26, No. 3. P. 155–166. DOI: <https://doi.org/10.26552/com.C.2024.030>
2. Fomin O. et al. Determination of safety indicators of the freight wagons by mobile systems // *Procedia Structural Integrity*. 2024. Vol. 59. P. 516–522. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2024.04.073>
3. Fomin O., Gerlici J., Lovskaya A., Kravchenko K., Prokopenko P., Fomina A., Hauser V. Research of the strength of the bearing structure of the flat wagon body from round pipes during transportation on the railway ferry // *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 235. Article 00003. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823500003>
4. de Paula Pacheco P. A. et al. The effectiveness of different wear indicators in quantifying wear on railway wheels of freight wagons // *Railway Engineering Science*. 2024. Vol. 32, No. 3. P. 307–323. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40534-024-00334-8>
5. Wang Q. et al. A diagnostic method of freight wagons hunting performance based on wayside hunting detection system // *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*. 2024. Vol. 227. Article 114274. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2024.114274>
6. Bulakh M. Improving the technical and operational characteristics of the railway carriage // *Scientific Reports*. 2025. Vol. 15. Article 509. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-84332-0>
7. Tokmurzina-Kobernyak N., Tursynbayeva A., Sagatova L., Shurenov M., Kurbenova A. Indicators of the dynamic interaction of the track and freight wagons with increased axial load // *Communications – Scientific Letters of the University of Žilina*. 2025. Vol. 27, No. 3. DOI: <https://doi.org/10.26552/com.C.2025.033>
8. Zhai W. Train–track coupled dynamics problems in heavy-haul rail // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*. 2025. DOI: <https://doi.org/10.1080/00423114.2025.2494834>
9. Solonenko V. G. Dynamic analysis of railway vehicle–track interaction // *Applied Sciences*. 2025. Vol. 15, No. 13. Article 7152. DOI: <https://doi.org/10.3390/app15137152>
10. Sulim A. O., Fomin O. V., Khozya P. O., Mastepan A. Theoretical and practical determination of parameters of on-board capacitive energy storage of the underground rolling stock // *Scientific Bulletin of National Mining University*. 2018. Issue 5 (1). P. 79–87. DOI: 10.29202/nvngu/2018-5/8
- No. 3. P. 155–166. DOI: <https://doi.org/10.26552/com.C.2024.030>
2. Fomin O. et al. Determination of safety indicators of the freight wagons by mobile systems // *Procedia Structural Integrity*. 2024. Vol. 59. P. 516–522. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2024.04.073>
3. Fomin O., Gerlici J., Lovskaya A., Kravchenko K., Prokopenko P., Fomina A., Hauser V. Research of the strength of the bearing structure of the flat wagon body from round pipes during transportation on the railway ferry // *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 235. Article 00003. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823500003>
4. de Paula Pacheco P. A. et al. The effectiveness of different wear indicators in quantifying wear on railway wheels of freight wagons // *Railway Engineering Science*. 2024. Vol. 32, No. 3. P. 307–323. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40534-024-00334-8>
5. Wang Q. et al. A diagnostic method of freight wagons hunting performance based on wayside hunting detection system // *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*. 2024. Vol. 227. Article 114274. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2024.114274>
6. Bulakh M. Improving the technical and operational characteristics of the railway carriage // *Scientific Reports*. 2025. Vol. 15. Article 509. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-84332-0>
7. Tokmurzina-Kobernyak N., Tursynbayeva A., Sagatova L., Shurenov M., Kurbenova A. Indicators of the dynamic interaction of the track and freight wagons with increased axial load // *Communications – Scientific Letters of the University of Žilina*. 2025. Vol. 27, No. 3. DOI: <https://doi.org/10.26552/com.C.2025.033>
8. Zhai W. Train–track coupled dynamics problems in heavy-haul rail // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*. 2025. DOI: <https://doi.org/10.1080/00423114.2025.2494834>
9. Solonenko V. G. Dynamic analysis of railway vehicle–track interaction // *Applied Sciences*. 2025. Vol. 15, No. 13. Article 7152. DOI: <https://doi.org/10.3390/app15137152>
10. Sulim A. O., Fomin O. V., Khozya P. O., Mastepan A. Theoretical and practical determination of parameters of on-board capacitive energy storage of the underground rolling stock // *Scientific Bulletin of National Mining University*. 2018. Issue 5 (1). P. 79–87. DOI: 10.29202/nvngu/2018-5/8

### References

1. Fomin O., Prokopenko P., Klimash A., Kuz'menko S. Assessment of the quality indicators of the carriage movement by directly measuring the forces of interaction between the wheels and rails // *Communications – Scientific Letters of the University of Žilina*. 2025. Vol. 26,

**Fomin O.V., Klymash A.O., Polupan Ye.V., Prokhorchuk M.V. Operational challenges in the interaction of mechanical parts of railway and road transport rolling stock in martial arts conditions**

*The article comprehensively examines the operational challenges that arise during the interaction of mechanical parts of railway and road transport rolling stock in conditions of martial law, which is characterized by increased traffic intensity, infrastructure destruction, resource shortages and instability of logistics chains. It is substantiated that the combination of dynamic overloads, shock and vibration effects, temperature fluctuations, aggressive environments and limited access to scheduled maintenance leads to accelerated wear of friction units, gears, bearing supports and brake systems. It is established that the degradation of the track and roadbed forms additional impulse loads on the wheelsets, axle units, spring suspension, bogie frames, transmission elements and steering*

*mechanisms of vehicles, which causes the cumulative nature of damage and an increase in the probability of sudden failures. The patterns of changes in the technical condition of mechanical systems under conditions of exceeding the regulatory operating modes, the use of alternative lubricants and spare parts substitutes, as well as reducing the time for diagnostics are studied. It is shown that traditional routine approaches to technical maintenance are not effective enough in a special period and require transformation into flexible strategies based on the assessment of the actual technical condition. The most vulnerable elements for railway transport are identified, in particular axle units, wheelsets, braking mechanisms and coupling devices, and for road transport - suspension, transmission, engines and tires operating in overload and off-road modes. The impact of the shortage of qualified personnel and limitations in material and technical support on the quality of repair operations and the reliability of restored units is analyzed. Conceptual approaches to increasing the survivability of rolling stock are proposed, which include the transition to technical maintenance systems based on condition, the introduction of express methods of vibroacoustic and thermographic diagnostics, the creation of mobile repair teams, the unification of design solutions and the formation of local reserves of critical spare parts. The feasibility of using digital monitoring technologies, the formation of a centralized database of typical failures and algorithms for supporting decision-making in real time is substantiated.*

*It is shown that the implementation of the proposed measures allows reducing the accident rate, optimizing the costs of restoration, extending the resource of responsible*

*nodes and ensuring the continuity of transport support in conditions of military risks. The results obtained form a scientific and methodological basis for adapting transport technical operation systems to extreme conditions and can be used in the development of regulatory documents, modernization of the existing fleet and the creation of a new generation of rolling stock with an increased level of reliability and security.*

**Keywords:** *rolling stock, martial law, technical operation, railway transport, road transport, reliability, repair strategies.*

**Фомін О. В.** – д.т.н., професор, професор кафедри «Вагони та вагонне господарство» Національного транспортного університету, o.fomin@ntu.edu.ua

**Климаш А. О.** – к.т.н., доцент, завідувач кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підійомно-транспортних машин Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, klimash@snu.edu.ua

**Полупан Є.В.** – к.т.н., доцент кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підійомно-транспортних машин Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, polupan\_ev@snu.edu.ua

**Прохорчук М. В.** – старший викладач факультету комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки Державний університет «Житомирська політехніка», maribel.dictu@gmail.com

Стаття подана 23.12.2025.