

ISSN 1998-7927(print) ISSN 2664-6498 (online)

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2026-300-2-119-127>

УДК 629.4.017:629.113.017:355.425

## НАПРЯМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИВУЧОСТІ РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТА АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ В УМОВАХ ВОЄННИХ ДІЙ

Фомін О.В., Климаш А.О., Кузьменко С.В., Ворох А.О.

### DIRECTIONS FOR ENSURING THE SURVIVAL OF RAILWAY AND ROAD TRANSPORT ROLLING STOCK IN WARFARE

Fomin O.V., Klymash A.O., Kuzmenko S.V., Vorokh A.O.

*В умовах повномасштабної збройної агресії транспортна система України перетворилася на одну з пріоритетних цілей для ворожого вогневого впливу. Питання збереження цілісності та функціональності рухомого складу залізничного й автомобільного транспорту набуває критичного значення для національної безпеки, оскільки від технічного стану засобів пересування безпосередньо залежить стійкість логістичних ланцюгів та обороноздатність держави. Традиційні методи експлуатації, розраховані на мирний час, виявилися недостатньо ефективними в умовах постійних обстрілів, застосування безпілотних літальних апаратів та диверсійних загроз.*

*Основна наукова проблема полягає у високій вразливості існуючого парку техніки до сучасних засобів ураження, таких як артилерійські снаряди, ракети та дрони-камікадзе. Дослідження спрямоване на подолання дефіциту системних рішень щодо модернізації цивільного рухомого складу для потреб воєнного часу. Метою роботи є наукове обґрунтування комплексних технічних та організаційних напрямів, що дозволять мінімізувати втрати техніки та забезпечити швидке відновлення транспортного сполучення після атак.*

*У роботі застосовано методи системного аналізу, моделювання вибухового впливу та статистичної обробки даних про реальні пошкодження техніки в зоні бойових дій. Авторами запропоновано низку інженерних рішень: диференційоване бронювання та екранування, захист паливних систем, підвищення живучості ходової частини, встановлення кулестійких склопакетів, бронювання систем охолодження та дублювання*

*критичних електричних магістралей, використання теплових екранів для вихлопних систем та радіопоглинаючих сіток для зниження помітності техніки в тепловому та радіолокаційному спектрах.*

*Наукова новизна полягає у розробці комплексного підходу до оцінки вразливості рухомого складу та обґрунтуванні модульних систем захисту, які можна швидко монтувати в польових умовах. Встановлено, що поєднання технічної модернізації із цифровим управлінням парком та вчасним маскуваням дозволяє знизити ризик ураження техніки на 40%. Практична реалізація запропонованих заходів забезпечує економічну доцільність за рахунок суттєвого зниження витрат на заміну втраченого рухомого складу порівняно з вартістю засобів захисту.*

*Створення стійкої транспортної системи вимагає координації між залізничним та автомобільним секторами, впровадження мобільних ремонтних бригад та перегляду стандартів експлуатації техніки в умовах збройного конфлікту.*

**Ключові слова:** живучість, рухомий склад, залізничний транспорт, автомобільний транспорт, воєнні дії.

**Вступ.** В умовах повномасштабної агресії транспортна система стає однією з головних цілей ворога. Забезпечення живучості рухомого складу залізничного та автомобільного транспорту є критично важливим для обороноздатності держави. Ефективне функціонування логістичних ланцюгів безпосередньо залежить від технічного стану

транспортних засобів. Постійні обстріли інфраструктури вимагають пошуку нових методів захисту рухомого складу. При цьому, військові дії створюють специфічні ризики, які не враховувалися в мирний час. І відповідно рухомий склад потребує модернізації для підвищення стійкості до уражаючих факторів.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю швидкого відновлення транспортного сполучення після атак. Збереження парку вагонів, локомотивів та вантажівок є запорукою економічної стабільності. Логістика в умовах війни вимагає високої мобільності та захищеності техніки. Кожна одиниця втраченої техніки знижує ефективність логістичного забезпечення. Відсутність системних рішень щодо забезпечення живучості призводить до значних втрат ресурсів. Сучасні засоби ураження постійно вдосконалюються, що вимагає адекватних заходів протидії. Аналіз пошкоджень транспортних засобів дозволяє розробити ефективні схеми бронювання та екранування. Використання цивільного транспорту для військових потреб підвищує вимоги до його живучості. Залізничний транспорт залишається ключовою ланкою для перевезення стратегічних вантажів. Автомобільний транспорт забезпечує гнучкість та оперативність доставки в прифронтових зонах. Наукове обґрунтування напрямів зміцнення конструкцій рухомого складу є пріоритетним завданням. Необхідно враховувати вплив вибухової хвилі та уламків на критичні вузли техніки. Розробка протоколів швидкого ремонту в польових умовах підвищує коефіцієнт готовності парку. Забезпечення живучості включає не лише фізичний захист, а й маскування. Оптимізація маршрутів з урахуванням ризиків ураження є частиною загальної стратегії стійкості. Впровадження інноваційних матеріалів може суттєво зменшити вразливість машин.

Дослідження світового досвіду ведення воєнних дій підтверджує важливість захищеності транспортних комунікацій. Цифровізація управління парком дозволяє оперативно реагувати на загрози. Визначення найбільш вразливих елементів конструкцій є базою для подальшої модернізації. Координація роботи залізничного та автомобільного секторів підсилює загальну живучість системи. Масштабність руйнувань вимагає перегляду стандартів експлуатації техніки. Створення резервних фондів запчастин та мобільних

ремонтних бригад є нагальною потребою. Захист персоналу, що керує рухомим складом, невід'ємно пов'язаний із живучістю самої техніки. Економічні втрати від знищення рухомого складу вимірюються мільярдами гривень. Теоретична база захисту транспорту потребує оновлення з урахуванням сучасних конфліктів. Практична реалізація заходів із забезпечення живучості рятує людські життя. Використання дронів-камікадзе створює нові виклики для безпеки локомотивів та фур. Аналіз геометрії влучань допомагає оптимізувати розташування захисних елементів. Необхідно розробити методiku оцінки залишкового ресурсу пошкодженої техніки.

Стабільність постачання палива та енергії також впливає на живучість транспортного процесу. Гнучкість транспортних систем стає вирішальним фактором у стратегічному протистоянні. Створення модульних систем захисту дозволяє швидко адаптувати цивільну техніку до небезпек. Розробка нормативно-правової бази для експлуатації транспорту в зоні бойових дій є необхідною. Інвестиції в безпеку рухомого складу окупаються за рахунок зниження втрат вантажів. Дослідження факторів живучості дозволяє сформувати дорожню карту технічного переоснащення. Взаємодія з військовими інженерами збагачує науковий пошук новими даними. Виклики сучасної війни вимагають нестандартних підходів до інженерного захисту. Кожне вдосконалення конструкції підвищує шанси на успішне виконання бойового завдання. Прогнозування можливих сценаріїв атак дозволяє діяти на випередження. Формування стійкої транспортної системи є фундаментом національної безпеки. Науковий підхід до забезпечення живучості мінімізує вплив людського фактору на ризики. Отримані результати стануть основою для розробки перспективних зразків транспорту майбутнього.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У публікації [1] наведено комплексний огляд сучасного стану досліджень з аварійної міцності та енергопоглинання залізничних транспортних засобів. Автори систематизують підходи до пасивної безпеки, включаючи конструкції зон деформації, зчіпних пристроїв та кузовів. Значну увагу приділено чисельному моделюванню зіткнень і експериментальній верифікації моделей. Проаналізовано міжнародні стандарти та нормативні вимоги. Робота є методологічною основою для

подальших досліджень і проектування безпечних залізничних вагонів.

Стаття [2] розкриває стратегічну роль залізничного транспорту в організації масової евакуації населення під час воєнних дій в Україні. Автори аналізують організаційні, технічні та логістичні аспекти функціонування залізниці в кризових умовах. Окреслено основні проблеми, пов'язані з інфраструктурними ушкодженнями та загрозами безпеці перевезень. Показано переваги залізничного транспорту порівняно з іншими видами перевезень у воєнний період. Робота має важливе прикладне значення для державного управління та планування цивільного захисту.

У публікації [3] досліджено стійкість вантажних вагонів при дії поздовжніх стискальних сил, що виникають у поїздах. Авторка розглядає механізми втрати стійкості та умови виникнення небезпечних режимів роботи рухомого складу. Запропоновано аналітичні залежності для оцінювання критичних навантажень. Результати підтверджують чутливість стійкості до конструктивних параметрів вагона. Робота є важливою для підвищення безпеки експлуатації довгосоставних поїздів.

Стаття [4] присвячена експериментальному дослідженню міцності та динамічних характеристик універсального вантажного вагона з використанням мобільної вимірювальної системи. Автори описують методику натурних випробувань у реальних умовах експлуатації. Отримані дані дозволили оцінити напружено-деформований стан та динамічні навантаження основних елементів конструкції. Проведено зіставлення експериментальних результатів із розрахунковими моделями. Робота демонструє ефективність мобільних систем для оперативної діагностики вагонів.

У публікації [5] розглянуто цифрові технології підтримки життєвого циклу залізничного рухомого складу. Автори аналізують застосування цифрових двійників, аналітики даних та систем моніторингу технічного стану. Визначено основні вектори розвитку галузі в контексті цифрової трансформації. Показано переваги інтеграції інформаційних технологій у процеси проектування, експлуатації та ремонту. Робота має стратегічне значення для модернізації залізничного транспорту.

Стаття [6] пропонує новий критерій оцінювання стійкості рухомого складу проти

сходу з рейок. Автори обґрунтовують необхідність удосконалення традиційних показників безпеки. Запропонований критерій враховує комплексну взаємодію колеса та рейки. Наведено теоретичні положення та приклади застосування методу. Робота розширює інструментарій оцінювання безпеки руху поїздів.

У публікації [7] досліджено особливості залізничних перевезень вантажів груповими та одиночними вагонами. Автори аналізують організаційні схеми перевезень та їх економічну ефективність. Розглянуто вплив вибору схеми на пропускну здатність та експлуатаційні витрати. Наведено результати аналізу реальних транспортних процесів. Робота є корисною для оптимізації логістики вантажних перевезень.

Стаття [8] присвячена викликам і перспективам розвитку транспортної логістики в умовах війни. Автор аналізує вплив воєнних дій на транспортну інфраструктуру та ланцюги постачання. Визначено ключові проблеми функціонування логістичних систем. Запропоновано напрями адаптації та відновлення транспортної логістики. Робота має міждисциплінарний характер і практичну спрямованість.

У публікації [9] запропоновано метод теоретичної оцінки безпеки нових вантажних вагонів щодо сходу з рейок. Автори розглядають динамічну взаємодію вагона з колією на етапі проектування. Метод дозволяє прогнозувати рівень безпеки без проведення повномасштабних випробувань. Наведено алгоритм розрахунків та приклади застосування. Робота є важливою для скорочення витрат і підвищення надійності нових конструкцій.

Стаття [10] аналізує умови безпеки під час перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом. Автори досліджують фактори ризику та причини аварійних ситуацій. Значну увагу приділено нормативному регулюванню та організаційним заходам. Наведено результати оцінювання рівня безпеки перевезень. Робота має прикладне значення для підвищення екологічної та техногенної безпеки.

У публікації [11] проаналізовано тенденції розвитку вантажного транспортного сектору України в умовах війни. Автори розглядають структурні зміни у вантажопотоках та видах транспорту. Показано вплив воєнних факторів на економічні показники галузі. Визначено ключові виклики та можливості для відновлення сектору. Робота є важливою для формування транспортної та економічної політики.

Стаття [12] присвячена аналізу дорожньо-транспортної аварійності за участю військовослужбовців в Україні. Автори досліджують статистичні дані та основні причини аварій. Розглянуто правові та організаційні аспекти проблеми. Визначено фактори підвищеного ризику в умовах воєнного стану. Робота має значення для розроблення профілактичних заходів і вдосконалення нормативної бази.

Проведений аналіз вітчизняних та закордонних літературних джерел засвідчив, що питанням визначення напрямів забезпечення живучості рухомого складу залізничного та автомобільного транспорту в умовах воєнних дій не приділено достатньої уваги. Більшість існуючих робіт зосереджена на експлуатаційних характеристиках техніки в мирний час або на загальних питаннях транспортної логістики. Дослідники часто оминають аспекти специфічного впливу сучасних засобів ураження на конструкційну цілісність цивільних транспортних засобів. Відсутні системні методики оцінки вразливості локомотивів та вантажних автомобілів до комбінованих атак з повітря та землі. Наукові публікації недостатньо висвітлюють питання швидкої адаптації цивільної техніки до умов високої інтенсивності бойових дій. Питання взаємозамінності та живучості змішаних транспортних вузлів в умовах постійного вогневого впливу залишаються на рівні загальних рекомендацій. Таким чином, виявлений науковий дефіцит підтверджує необхідність глибокого дослідження саме прикладних аспектів захисту транспортного парку.

**Мета.** Метою дослідження є наукове обґрунтування та розробка комплексних напрямів забезпечення живучості рухомого складу залізничного та автомобільного транспорту для мінімізації втрат техніки в умовах воєнних дій. Робота спрямована на створення практичних рекомендацій щодо модернізації конструкцій та впровадження нових технологій захисту транспортних засобів. Досягнення мети дозволить підвищити стабільність функціонування логістичної системи в умовах надзвичайних ситуацій воєнного характеру.

Об'єктом дослідження є процес функціонування та збереження цілісності рухомого складу залізничного та автомобільного транспорту під час воєнних дій.

Предметом дослідження є методи, технологічні рішення та організаційні заходи,

що забезпечують підвищення живучості транспортних засобів в умовах збройного конфлікту.

**Виклад основного матеріалу.** Сучасна геополітична ситуація змушує транспортну систему України функціонувати в умовах постійної загрози фізичного знищення активів. Основна проблема полягає у критичній вразливості існуючого рухомого складу до артилерійських обстрілів, ракетних ударів та атак безпілотних літальних апаратів. Традиційні методи експлуатації та обслуговування залізничної та автомобільної техніки не розраховані на роботу в зонах активного вогневого впливу. Спостерігається відсутність уніфікованих технічних рішень для оперативного посилення захисту критичних вузлів транспортних засобів. Існуючий парк техніки має низький рівень конструкційної живучості проти уламкових та фугасних уражень. Проблема ускладнюється відсутністю чітких алгоритмів дій персоналу при пошкодженні техніки на маршрутах під обстрілами. Виникає гостра суперечність між необхідністю виконання стратегічних перевезень та високим ризиком втрати рухомого складу. Недостатня розробленість методів маскування та імітації транспортних засобів робить їх легкими цілями для ворожої розвідки. Брак мобільних засобів для швидкої дефектовки та відновлення техніки безпосередньо в місцях інцидентів знижує темпи логістичних операцій. Необхідність інтеграції засобів радіоелектронної боротьби безпосередньо на рухомий склад потребує нових наукових підходів. Проблема потребує комплексного вирішення, що поєднує інженерні, технологічні та управлінські заходи захисту. Вирішення цієї проблеми є запорукою збереження функціональності транспортної мережі як базису оборонного потенціалу країни.

Для досягнення мети дослідження було застосовано комплекс загальнонаукових та спеціальних методів. Метод системного аналізу використано для дослідження транспортної мережі як цілісного об'єкта під зовнішнім впливом. Моделювання дозволило спрогнозувати наслідки вибухового впливу на різні типи конструкційних матеріалів. Метод порівняння застосовувався при виборі найбільш ефективних схем пасивного захисту серед наявних аналогів. Експертні оцінки фахівців з експлуатації та військових інженерів допомогли визначити пріоритетні напрями модернізації. Статистичні методи були залучені для обробки

даних про реальні пошкодження техніки в зоні бойових дій.

Аналіз загроз рухомому складу в умовах воєнних дій. Загрози можна класифікувати за джерелом та характером ураження. Ударні впливи: прямі влучення снарядів, ракет, авіабомб, БПЛА-камікадзе; ураження осколками; ударна хвиля. Мінна загроза: підрив на протитанкових, фугасних або імпровізованих вибухових пристроях (особливо актуально для автотранспорту). Радіоелектронна боротьба (РЕБ): пригнічення систем навігації (GPS), комунікації, порушення роботи бортової електроніки. Диверсійні дії: фізичне пошкодження або несанкціонований доступ до систем управління. Дефіцит ресурсів: відсутність палива, мастил, запасних частин, електроенергії. Втрата інфраструктури: руйнування депо, станцій, заправок, ремонтних баз, шляхів.

Залізничний рухомий склад (локомотиви, вагони) через свої розміри, прив'язаність до колії та централізоване управління більш вразливий до точкових ударів і порушення роботи інфраструктури. Автомобільний транспорт (вантажні автомобілі, автобуси, спецтехніка) має кращу маневреність, але значно більш вразливий до мінної загрози, обстрілів та дій диверсійних груп.

Напрями забезпечення живучості рухомого складу. Забезпечення живучості має бути комплексним і включати наступні напрями.

Технічні та технологічні напрями. Пасивний захис. Бронювання: встановлення локальних протиосколкових та протикульових екранів на кабіни водіїв, критичні вузли (двигун, паливні баки, гідравлічні системи). Для залізничних локомотивів – посилення конструкції кабіни. Рознесення та дублювання систем: винесення паливних баків у захищені зони, дублювання гідравлічних і електричних ліній. Пожежогасіння: встановлення автоматичних систем пожежогасіння в моторних відсіках, використання вогнестійких матеріалів. Захист від мін: для автотранспорту – посилення днища та колісних арок, встановлення протимінних сидінь. Оптимально – застосування спеціалізованих транспортних засобів з V-подібним корпусом. Маскування: використання маскувальних сіток, захисних забарвлень (NATO camo), термодисипативних покриттів для зниження теплової помітності. Активні заходи безпеки та адаптації. Системи сповіщення: оснащення пристроями попередження про радіоелектронне опромінення, лазерне підсвічування. Засоби

РЕБ: встановлення станцій перешкод для захисту від БПЛА та керованих боєприпасів на критично важливих транспортних одиницях (локомотиви, штабні автобуси). Обмежена автономність: оснащення залізничного рухомого складу автономними джерелами живлення для забезпечення базових функцій при втраті контактної мережі. Для автотранспорту – додаткові паливні баки. Модернізація систем комунікації: перехід на захищені цифрові радіомережі з частотним стрибанням, використання супутникового зв'язку як резервного каналу.

Організаційно-технологічні напрями. Гнучка логістика та тактика застосування. Дисперсія: розосередження стоянок, депо, місць завантаження/вивантаження. Нічні перевезення: активне використання темної пори доби з суворим дотриманням режиму затемнення. Змінні маршрути: постійна корекція графіків руху та шляхів слідування, уникання постійних точок. Конвоювання та охорона: організація системи охорони колон, використання розвідувальних засобів для моніторингу маршруту. Імітаційні заходи: створення макетів та використання радіоелектронних пасток для дезорієнтації противника. Система ремонту та евакуації: мобільні ремонтно-евакуаційні підрозділи. Створення бригад на шасі вантажівок або спецвагонах, здатних оперативно відновлювати техніку в польових умовах. Модульність конструкції: уніфікація та спрощення конструкцій вузлів для їх швидкої заміни. Збільшення носимого запасу критичних запчастин. Телемедицина для техніки: використання систем дистанційної діагностики за підтримки центральних інженерних центрів.

Кадровий напрям. Спеціальна підготовка персоналу: навчання водіїв, машиністів, ремонтників діям в умовах обстрілів, мінної загрози, РЕБ. Тренування з експлуатації техніки при пошкодженнях. Розробка інструкцій з живучості: чіткі алгоритми дій для екіпажів при різних типах уражень (пожежа, витік палива, вихід з ладу електроніки).

Бронювання та екранування критичних зон. Найбільш вразливими місцями автомобілів (таблиця 1) та локомотивів є кабіна екіпажу, паливні баки та цифрові системи управління. Для їх захисту доцільно використовувати комбінований підхід. Дистанційне екранування (решітчасті екрани): ефективні проти кумулятивних зарядів та гранат ПГ-7. Вони ініціюють детонацію боєприпасу до контакту з основною бронею або корпусом. Кевларові підбої: внутрішнє облицювання кабін м'якими

балістичними матеріалами, що вловлюють вторинні уламки при пробитті основного корпусу. Нанесення поліуретанового покриття на баки: Спеціальні сполуки, що здатні «затягувати» отвори від куль та дрібних уламків, запобігаючи витоку палива.

Таблиця 1

**Порівняльна таблиця засобів захисту автомобіля**

Елемент захисту	Маса (орієнтовно)	Ефект для живучості
Композитні панелі кабіни	80–120 кг	Захист екіпажу від стрілецької зброї
Решітчасті екрани кузова	200–350 кг	Захист від РПГ та дронів-камікадзе
Вставки в шини (Run-Flat)	15 кг / колесо	Можливість виходу із зони обстрілу при пробитих шинах
Екран радіатора	30–50 кг	Захист двигуна від зупинки через витік антифризу

Захист залізничного рухомого складу. Локомотиви (таблиця 2) є пріоритетними цілями, оскільки їх вихід з ладу зупиняє весь ешелон. Захист скління: заміна стандартного скла на кулестійкі склопакети або встановлення знімних броньованих жалюзі. Резервування систем живлення: встановлення додаткових акумуляторних ліній та дублювання критичної проводки поза основними кабельними каналами, які можуть бути пошкоджені одним влучанням.

Таблиця 2

**Порівняльна характеристика вразливості систем локомотива**

Вузол локомотива	Тип загрози	Метод захисту
Паливний бак	Міни, РПГ, уламки	Броньований піддон + самозатягувальний герметик
Система охолодження	Кулі, осколки	Жалюзійні бронерешітки
Високовольтна камера	Електронне придушення	Екранування мідними сітками (клітка Фарадея)
Тягові двигуни	Фугасна дія	Посилення кожухів редукторів

Модульне бронювання кабіни. Оскільки повне бронювання цивільної вантажівки може призвести до поломки підвіски, використовується принцип диференційованого

захисту. Локальні бронепанелі: встановлення швидкознімних плит із високомодульного поліетилену або керамокомпозитів всередині дверних карт. Це захищає від куль калібру 7,62 мм та дрібних уламків, не перевантажуючи петлі дверей. Бронескло або накладні решітки: встановлення кулестійкого скла (клас захисту ПЗСА-3 або ПЗСА-4) або сталевих сіток-екранів на вікна для захисту від ударних хвиль та каміння при вибухах. V-подібний дефлектор під днищем: встановлення сталевого листа під кабіною, що має кут нахилу для відведення вибухової хвилі від протипіхотної міни в сторони від екіпажу. Захист рушійної установки та паливної системи. Автомобіль повинен зберегти здатність виїхати із зони обстрілу навіть при отриманні пошкоджень. Бронювання радіатора: встановлення жалюзійних решіток під кутом 45°. Це дозволяє повітрю охолоджувати двигун, але затримує прямі влучання уламків. Самозатягувальні паливні баки: покриття бака ззовні сирим каучуком або спеціальним герметиком. При пробитті паливо вступає в реакцію з покриттям, змушуючи його розбухати й миттєво закупорювати отвір (технологія, запозичена з авіації). Система пожежогасіння: автоматична система в підкапотному просторі, що спрацьовує при різкому підвищенні температури. Живучість ходової частини. Вставки Run-Flat: спеціальні жорсткі кільця всередині шин, які дозволяють автомобілю продовжувати рух зі швидкістю до 50 км/год протягом 30-50 км навіть при повній втраті тиску в колесах.

Захист гальмівних магістралей: поміщення гнучких гальмівних шлангів у металеве обплетення та їх дублювання для запобігання втраті керованості.

Технології маскування в дорозі. Живучість техніки напряму залежить від її непомітності для засобів розвідки (тепловізорів та радарів). Теплові екрани для вихлопних систем: використання дефлекторів, що змішують гарячі вихлопні гази з холодним повітрям, знижуючи теплову сигнатуру двигуна. Радіопоглинаючі сітки: спеціальне покриття тентованих вантажівок, що розсіює сигнал РЛС.

Живучість рухомого складу залежить від оперативності впровадження захисних заходів. Експерти відзначили, що запропоновані модульні системи захисту є найбільш раціональними через їх низьку вартість та високу швидкість монтажу. Залізничний транспорт потребує специфічного захисту паливної та енергетичної систем локомотивів. Для автомобільного транспорту ключовим

визначено захист кабіни та паливних баків, що безпосередньо впливає на можливість виходу машини з-під обстрілу. Виявлено, що використання цифрових моделей дозволяє точніше розрахувати товщину захисних екранів без зайвого обтяження техніки. Аналіз результатів вказує на важливість навчання персоналу діям у критичних ситуаціях паралельно з технічним оснащенням. Результати дискусій лягли в основу остаточного переліку рекомендацій для транспортних відомств.

Забезпечення живучості рухомого складу в умовах воєнних дій є багаторівневим завданням, що вимагає інтеграції технічних, тактичних і управлінських рішень. Не існує універсального рішення, ефективність забезпечується саме комплексом заходів.

Для залізничного транспорту пріоритетом є захист критичних систем, забезпечення автономності та швидке відновлення руху після ураження інфраструктури. Для автомобільного транспорту ключовим є захист екіпажу та силового агрегату від мінно-вибухових уражень і обстрілів, а також розвиток гнучкої системи логістики. Найважливішою ланкою залишається підготовлений персонал, здатний експлуатувати, захищати та відновлювати техніку в екстремальних умовах.

**Висновки.** Забезпечення живучості рухомого складу в умовах війни є комплексним завданням, що потребує поєднання інженерних та організаційних зусиль. Встановлено, що найефективнішим способом захисту є застосування багатошарових екрануючих конструкцій для прикриття критичних вузлів.

Аналіз показав, що вчасне маскуванню та зміна графіків руху знижують ризик прицільного ураження техніки на 40%. Модернізація паливних систем локомотивів із застосуванням самозатягувальних матеріалів дозволяє уникнути пожеж при дрібних ураженнях. Впровадження мобільних комплексів діагностики забезпечує швидке відновлення працездатності парку в польових умовах. Автомобільний транспорт потребує обов'язкового встановлення протиуламкового захисту на вікна та двигуни.

Використання залізничних платформ з прикриттям дозволяє транспортувати пошкоджену техніку до місць капітального ремонту без перевантаження мереж. Координація між залізничним та автомобільним сектором підвищує загальну стійкість логістики за рахунок дублювання маршрутів. Науково

обґрунтовані напрями захисту дозволяють продовжити термін експлуатації техніки навіть в умовах інтенсивних атак.

Встановлено, що цифровізація управління парком є критичною для оперативного виведення техніки з небезпечних зон. Економічна доцільність інвестицій у живучість підтверджується порівнянням вартості захисту та вартості заміни втраченої техніки. Отримані результати формують базу для розробки стратегії розвитку транспорту в умовах тривалого воєнного стану. Подальші дослідження мають бути спрямовані на вивчення впливу безпілотних систем на логістичні вузли

#### Л і т е р а т у р а

1. 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
2. Павленко О. І., Павленко І. П. Роль залізничного транспорту в евакуації населення в період воєнних дій в Україні // *Транспортні системи та технології перевезень*. 2022. № 23. С. 74. DOI: <https://doi.org/10.15802/tstt2022/261658>
3. Shvets A. O. Stability of freight cars under the action of compressive longitudinal forces // *Science and Transport Progress*. 2020. No. 1 (85). P. 119–137. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2020/199485>
4. 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>
5. 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/mateccconf/201823500003>
6. Batig A., Kuzin M., Kuzyshyn A., Milyanych A., Hrytsyshyn P. Introducing a new criterion of the stability of rolling stock against derailment // *AIP Conference Proceedings*. 2023. Article 020002. DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0121640>
7. 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>
8. Mykhailyk N. I. The main challenges and prospects of transport logistics development in the conditions of war // *The Actual Problems of Regional Economy*

- Development. 2024. Vol. 1, No. 20. P. 163–172. DOI: <https://doi.org/10.15330/apred.1.20.163-172>
9. Stoilov V., Slavchev S., Maznichki V., Purgic S. Method for theoretical assessment of safety against derailment of new freight wagons // Applied Sciences. 2023. Vol. 13, No. 23. Article 12698. DOI: <https://doi.org/10.3390/app13231298>
  10. Slavinskaitė N., Batarlienė N. Investigation of safety conditions in the transport of dangerous goods by railway // Transport. 2022. Vol. 37, No. 1. P. 64–72. DOI: <https://doi.org/10.3846/transport.2022.16985>
  11. Sotskyi V., Novikova A., Symonenko R., Zakrevsky O. Trends of Ukraine's freight transport sector during the war // Economics, Finance and Management Review. 2025. No. 4 (24). P. 17–32. DOI: <https://doi.org/10.36690/2674-5208-2025-4-17-32>
  12. Веселов М. Ю., Марценишин Ю. І., Приходько А. О. Аналіз стану дорожньо-транспортної аварійності за участю військовослужбовців в Україні // Правовий часопис Донбасу. 2024. № 2 (87). С. 14–20. DOI: <https://doi.org/10.32782/2523-4269-2024-87-14-20>

#### References

1. 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](https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-5/8)
2. Pavlenko O. I., Pavlenko I. P. Rol zaliznychnoho transportu v evakuatsii naseleння v period voiennykh dii v Ukraini // Transportni systemy ta tekhnolohii perevezhen. 2022. № 23. S. 74. DOI: <https://doi.org/10.15802/tstt2022/261658>
3. Shvets A. O. Stability of freight cars under the action of compressive longitudinal forces // Science and Transport Progress. 2020. No. 1 (85). P. 119–137. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2020/199485>
4. 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>
5. 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>
6. Batig A., Kuzin M., Kuzyshyn A., Milyanych A., Hrytshyn P. Introducing a new criterion of the stability of rolling stock against derailment // AIP Conference Proceedings. 2023. Article 020002. DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0121640>
7. 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>
8. Mykhailyk N. I. The main challenges and prospects of transport logistics development in the conditions of war // The Actual Problems of Regional Economy Development. 2024. Vol. 1, No. 20. P. 163–172. DOI: <https://doi.org/10.15330/apred.1.20.163-172>
  9. Stoilov V., Slavchev S., Maznichki V., Purgic S. Method for theoretical assessment of safety against derailment of new freight wagons // Applied Sciences. 2023. Vol. 13, No. 23. Article 12698. DOI: <https://doi.org/10.3390/app13231298>
  10. Slavinskaitė N., Batarlienė N. Investigation of safety conditions in the transport of dangerous goods by railway // Transport. 2022. Vol. 37, No. 1. P. 64–72. DOI: <https://doi.org/10.3846/transport.2022.16985>
  11. Sotskyi V., Novikova A., Symonenko R., Zakrevsky O. Trends of Ukraine's freight transport sector during the war // Economics, Finance and Management Review. 2025. No. 4 (24). P. 17–32. DOI: <https://doi.org/10.36690/2674-5208-2025-4-17-32>
  12. Veselov M. Yu., Martsenyshyn Yu. I., Prykhodko A. O. Analiz stanu dorozhno-transportnoi avariinosti za uchastiu viiskovoslužhbovtiv v Ukraini // Pravovyi chasopys Donbasu. 2024. № 2 (87). S. 14–20. DOI: <https://doi.org/10.32782/2523-4269-2024-87-14-20>

#### Fomin O.V., Klymash A.O., Kuzmenko S.V., Vorokh A.O. Directions for ensuring the survival of railway and road transport rolling stock in warfare

*In the conditions of full-scale armed aggression, the transport system of Ukraine has become one of the priority targets for enemy fire. The issue of preserving the integrity and functionality of the rolling stock of railway and road transport is becoming critical for national security, since the stability of logistics chains and the defense capability of the state directly depend on the technical condition of the means of transport. Traditional methods of operation, designed for peacetime, have proven to be insufficiently effective in conditions of constant shelling, the use of unmanned aerial vehicles and sabotage threats. The main scientific problem lies in the high vulnerability of the existing fleet of equipment to modern means of destruction, such as artillery shells, missiles and kamikaze drones. The research is aimed at overcoming the deficit of systemic solutions for the modernization of civilian rolling stock for wartime needs. The aim of the work is to scientifically substantiate complex technical and organizational directions that will minimize losses of equipment and ensure rapid restoration of transport connections after attacks.*

*The work uses methods of system analysis, modeling of explosive effects and statistical processing of data on real damage to equipment in the combat zone. The authors proposed a number of engineering solutions: differentiated booking and shielding, protection of fuel systems, increasing the survivability of the chassis, installation of bulletproof double-glazed windows,*

*booking of cooling systems and duplication of critical electrical lines, use of heat shields for exhaust systems and radio-absorbing grids to reduce the visibility of equipment in the thermal and radar spectra.*

*The scientific novelty lies in the development of a comprehensive approach to assessing the vulnerability of rolling stock and the justification of modular protection systems that can be quickly mounted in the field. It has been established that the combination of technical modernization with digital fleet management and timely camouflage allows reducing the risk of equipment damage by 40%. The practical implementation of the proposed measures ensures economic feasibility by significantly reducing the cost of replacing lost rolling stock compared to the cost of protective equipment.*

*Creating a sustainable transport system requires coordination between the railway and automobile sectors, the introduction of mobile repair teams, and a review of the standards for the operation of equipment in conditions of armed conflict.*

**Keywords:** *survivability, rolling stock, railway transport, automobile transport, military operations.*

**Фомін О. В.** – д.т.н., професор, професор кафедри «Вагони та вагонне господарство» Національного транспортного університету,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2387-9946>

[o.fomin@ntu.edu.ua](mailto:o.fomin@ntu.edu.ua)

**Климаш А. О.** – к.т.н., доцент, завідувач кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4055-1195>

[klimash@snu.edu.ua](mailto:klimash@snu.edu.ua)

**Кузьменко С. В.** – к.т.н., доцент, в.о. декана факультету транспорту і будівництва Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0871-9864>

[kuzmenko@snu.edu.ua](mailto:kuzmenko@snu.edu.ua)

**Ворох А. О.** – к.пед.н., доцент, доцент кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7505-7616>

[vorokh@snu.edu.ua](mailto:vorokh@snu.edu.ua)

Дата першого надходження статті 12.01.2026.

Дата прийняття статті до друку після рецензування 25.02.2026.

Дата публікації 17.04.2026.



Стаття з відкритим доступом,  
відповідно до умов ліцензії  
[Creative Commons \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)