

**Андрій Батіз**

магістр, старший науковий співробітник,
Львівський науково-дослідний інститут судових експертиз
<https://orcid.org/0000-0003-1205-6004>

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ДОСЛІДЖЕННІ ПРИЧИН СХОДУ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ З РЕЙКОВОЇ КОЛІЇ

У статті розглянуто актуальні проблеми встановлення причин сходу вантажних вагонів з рейкової колії в умовах зростання кількості залізнично-транспортних пригод. Проаналізовано основні види сходу рухомого складу, статистичний розподіл таких випадків за причинами, а також характерні технічні передумови, пов'язані з незадовільним станом ходових частин вагонів і рейкової колії. Встановлено, що значна частина випадків сходу обумовлена не однією несправністю, а сукупністю взаємопов'язаних чинників, які в конкретних експлуатаційних умовах формують критичне поєднання обставин. Обґрунтовано, що традиційні підходи до експертного дослідження таких пригод потребують удосконалення через високу трудомісткість, складність верифікації вихідних даних, наявність прихованих причин і необхідність аналізу великого обсягу параметрів динамічної взаємодії рухомого складу та рейкової колії. Запропоновано розглядати можливості технологій штучного інтелекту як перспективного інструменту підтримки експертних досліджень. Визначено основні напрями їх застосування: автоматизована обробка матеріалів службового розслідування, виявлення прихованих закономірностей у масивах наданих для дослідження даних, класифікація причин сходу, прогнозування ризикових станів, підтримка побудови математичних і комп'ютерних моделей динаміки руху рухомого складу та формування сценаріїв найбільш несприятливого поєднання чинників. Окрему увагу приділено можливості використання інтелектуальних алгоритмів для встановлення технічних параметрів, за яких суттєво зростає імовірність втрати стійкості руху рухомого складу та настання його сходу з рейкової колії. Зазначено, що використання штучного інтелекту не замінює експерта, а підвищує об'єктивність, швидкість і повноту дослідження, створюючи передумови для більш точного встановлення причин залізнично-транспортних пригод.

Ключові слова: безпека руху, схід рухомого складу, вантажні вагони, рейкова колія, ходові частини, судова експертиза.

Постановка проблеми. Безпека руху є одним із пріоритетних завдань залізничного транспорту, оскільки від її рівня залежать безперервність перевізного процесу, збереження рухомого складу (вагонів, локомотивів, спеціального самохідного рухомого складу) і вантажів, життя та здоров'я працівників залізниці й інших громадян, а також мінімізація негативного впливу на довкілля. Із цієї метою постійно вдосконалюється нормативна

база, розробляються організаційно-технічні заходи щодо запобігання залізнично-транспортним пригодам, досліджуються чинники, що створюють загрозу безпеці руху, та впроваджуються нові підходи до контролю технічного стану інфраструктури й рухомого складу [1, с. 611].

Разом із тим багаторічна практика експлуатації залізничного транспорту свідчить, що значну частину залізнично-транспортних

пригод становлять випадки сходу рухомого складу з рейкової колії. Наслідками таких подій зазвичай є пошкодження або руйнування елементів конструкції рухомого складу та колії, втрата вантажу, завдання матеріальних збитків, травмування чи загибель людей.

Особливо складними для дослідження є випадки, коли причини сходу не мають очевидного характеру та не можуть бути встановлені лише шляхом безпосереднього аналізу технічного стану окремих елементів вагона або рейкової колії. У таких ситуаціях залізнично-транспортна пригода формується внаслідок складного поєднання багатьох чинників, кожен з яких окремо може не створювати загрози безпеці руху, але їхня сукупна дія призводить до втрати стійкості руху рухомого складу.

У зв'язку із цим виникає потреба в удосконаленні науково-методичних підходів до дослідження причин сходу рухомого складу, зокрема шляхом використання сучасних цифрових технологій, математичного моделювання та інструментів штучного інтелекту. Такі засоби можуть істотно розширити можливості експерта щодо аналізу великих обсягів даних, виявлення прихованих закономірностей, оцінки комбінацій параметрів рухомого складу, рейкової колії та побудови обґрунтованих висновків.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Питання безпеки руху, причин сходу рухомого складу з рейкової колії та особливостей експертного дослідження таких пригод знайшли відображення в наукових працях працівників Львівського науково-дослідженого інституту судових експертиз [1-4]. У зазначених дослідженнях розглянуто як окремі механізми виникнення сходу рухомого складу з рейкової колії, так і загальні проблеми встановлення причин залізнично-транспортних пригод. Зокрема, у роботі [1, с. 610] досліджено вплив різниці діаметрів коліс колісної пари вагона на умови настання його сходу з рейкової колії з використанням квазідинамічного підходу, що дало можливість встановити залежність стійкості руху вагонів від різниці діаметрів коліс колісних пар колісних пар та підтвердити значний вплив цього фактора на безпеку руху. А у статті [2, с. 581] розглянуто показники стійкості руху рухомого складу залізниць країн Європейського Союзу, що дало змогу порівняти підходи до оціню-

вання безпеки руху та визначити ключові критерії, які впливають на ймовірність сходу рухомого складу з рейкової колії [2, с. 582].

Окрему увагу приділено проблемам, що виникають під час експертного дослідження технічного стану рухомого складу у випадках залізнично-транспортних пригод. У роботах [1, 2] встановлено, що складність таких досліджень зумовлена значною кількістю взаємопов'язаних факторів, неповнотою вихідних даних та необхідністю відтворення механізму події в умовах часткової втрати вихідних даних [3, с. 49].

Подальший розвиток зазначеного напряму відображено в дослідженнях, присвячених удосконаленню математичних моделей вантажних вагонів для виконання судових залізнично-транспортних експертиз, де обґрунтовано необхідність підвищення точності опису динамічної поведінки рухомого складу та врахування реального технічного стану його елементів [4, с. 3-4]. Такі підходи дають можливість більш об'єктивно оцінювати вплив окремих параметрів вагонів на стійкість їхнього руху та ризик сходу з рейкової колії.

Разом із тим сучасні дослідження свідчать про поступовий перехід до використання цифрових технологій у сфері судової експертизи. Зокрема, відзначається потенціал у застосуванні штучного інтелекту та високоточної цифрової симуляції для моделювання складних подій, що дає змогу підвищити точність, об'єктивність та відтворюваність реконструкцій залізнично-транспортних пригод [5, с. 75]. При цьому інтеграція AI в судову залізнично-транспортну експертизу потребує алгоритмізації досліджень, формування якісних масивів даних та адаптації існуючих методик до цифрового середовища, що створює передумови для автоматизації аналізу та підвищення ефективності експертних висновків [6, 7].

Водночас, незважаючи на наявність значної кількості досліджень, питання комплексного поєднання традиційних методів інженерного аналізу з можливостями штучного інтелекту для встановлення причин сходу рухомого складу з рейкової колії, залишаються недостатньо опрацьованими та потребують подальшого розвитку.

Мета дослідження. Метою роботи є визначення та наукове обґрунтування перспективних напрямів застосування технологій штучного інтелекту в дослідженні причин сходу

вантажних вагонів з рейкової колії з урахуванням сучасних проблем експертного аналізу, багатофакторності процесів взаємодії рухомого складу та рейкової колії, а також необхідності підвищення ефективності, об'єктивності й повноти встановлення причин залізнично-транспортних пригод.

Викладення основного матеріалу. Схід з рейок рухомого складу є залізнично-транспортною подією, що призводить до втрати взаємодії хоча б одного колеса з рейкою внаслідок зміщення колеса відносно його нормального положення на головці рейки. Аналіз практичного досвіду та наукових робіт дає змогу виділити декілька основних видів таких пригод. До них належать схід через розпирання рейкової колії, витискання вагонів унаслідок дії поздовжніх сил, неприпустиме горизонтальне поперечне викривлення колійної решітки, вкочування підрізаного гребеня на стрілочному переводі, розріз стрілки, зіткнення рухомого складу, а також злам рейки. Кожному із цих видів властиві характерні ознаки, механізм розвитку та специфічні сліди, що мають принципове значення для виконання судових експертиз. Одним із найбільш поширених є схід через розпирання колії, який реалізується внаслідок відтиснення гребенем колеса головки однієї рейки та провалювання другого колеса всередину колії. Такий механізм сходу традиційно пов'язується з деформацією рейок, особливостями кріплення верхньої будови колії, а також параметрами колісної пари, зокрема товщиною гребеня, відстанню між внутрішніми гранями коліс і шириною обода. Іншим небезпечним видом є схід через витискання вагонів, що зазвичай виникає за дії надкритичних поздовжніх стискаючих сил у поїзді, особливо в кривих, на переломах профілю та під час гальмування. Встановлено, що порожні вагони в таких умовах є більш чутливими до несприятливої дії поздовжніх сил, нерівностей колії та зносів елементів ходових частин вагонів [2, с. 582].

Окрему групу становлять випадки сходу рухомого складу на стрілочних переводах, де вирішальну роль можуть відігравати підрізаний або деформований гребінь колеса, перекиї колісної пари, знос рамної рейки, неповне прилягання вістря до рамної рейки та несправності перевідного механізму. У таких ситуаціях навіть незначна сукуп-

ність відхилень може сформувати механізм розвитку залізнично-транспортної пригоди. Таким чином, схід вагонів із рейкової колії є результатом дії не лише окремих технічних несправностей, а й складної взаємодії параметрів колії, рухомого складу, режиму руху поїзда й організації перевізного процесу.

Аналіз статистичних даних щодо випадків сходу вантажних вагонів з рейкової колії свідчить, що найбільшу частку становлять пригоди, пов'язані з розпиранням колії, зіткненням рухомого складу, розрізом стрілки та так званими іншими причинами, до яких доцільно відносити незадовільну взаємодію рухомого складу з рейковою колією, злами елементів конструкції та наїзди на сторонні предмети. Особливої уваги заслуговує група випадків, де безпосередньою причиною виступає саме незадовільна взаємодія ходових частин вагона з колією. Це свідчить про те, що навіть за відсутності грубих порушень норм утримання окремих елементів можуть виникати критичні умови, пов'язані з граничними поєднаннями зносів, зазорів, особливостей профілю колеса та рейки, параметрів ресорного підвішування й умов навантаження вагонів [3, с. 50].

Як показує статистика, серед несправностей вантажних вагонів, що стають причиною залізнично-транспортних пригод, найбільшу частку становлять несправності ходових частин, зокрема понаднормативні зноси опорних поверхонь бокових рам, підп'ятників, фрикційних клинів та планок, збільшені зазори у вузлах букса - бокова рама, ковзуни надресорної балки - ковзуни рами вагона, ослаблення та руйнування елементів кріплення буксових вузлів і підшипників, а також дефекти поверхні кочення коліс - тонкий гребінь, повзуни поверхні кочення коліс, вертикальний підріз і гострокінцевий накат гребеня. Ці несправності безпосередньо впливають на стійкість руху, змінюють динамічні характеристики вагона та збільшують рівень силової взаємодії колеса і рейки. Особливо небезпечними є випадки, коли відхилення окремих параметрів наближаються до гранично допустимих значень, але формально ще не виходять за межі норми. Саме в таких умовах можуть реалізовуватися приховані механізми сходу. Значну роль у цьому відіграють і конструктивні особливості візків моделі 18-100, для яких характерні висока

непідресорена маса, інтенсивне зношування фрикційних елементів, недостатня стабільність демпфірування, зношування п'ятникових вузлів і буксових прорізів, а також відносно низька критична швидкість за умовами стійкості руху. У сукупності це створює передумови до погіршення показників безпеки руху, особливо для порожніх вагонів, вагонів із високим центром мас та вагонів із короткою базою.

Як бачимо, встановлення причин сходу рухомого складу з рейкової колії є складним експертним завданням, яке ще в багатьох випадках потребує трасологічного аналізу.

На початковому етапі дослідження залізнично-транспортної пригоди - сходу рухомого складу з рейкової колії - необхідно дослідити слідову картину сходу, технічний стан вагона, стан верхньої і нижньої будови колії, умови формування поїзда та режим ведення поїзда. Подальший етап пов'язаний із виявленням причинно-наслідкових зв'язків між технічним станом об'єктів дослідження, фактичними діями працівників залізниці та розвитком залізнично-транспортної пригоди. Однак на практиці цей процес ускладнюється низкою обставин. У випадку сходу елементи рухомого складу та колії зазнають значних деформацій і руйнувань, що унеможливорює точне визначення частини вихідних параметрів у тому стані, у якому вони існували до пригоди. Крім того, службові розслідування, проведені залізницею після настання пригоди, не завжди містять повний та достовірний обсяг вихідної інформації. У матеріалах можуть бути відсутні дані про реальні зазори та зноси елементів конструкції рухомого складу, сліди на рейках і колесах, швидкісній стрічці, результати проходження колієвимірвальних вагонів тощо. У деяких випадках спостерігається перекручування або неповне відображення обставин пригоди. Найскладнішими для дослідження є ті випадки, коли формально всі параметри перебувають у межах допустимих значень, але відбувся схід рухомого складу з рейкової колії. Такий механізм неможливо пояснити лише одним дефектом або окремою несправністю. У зв'язку із цим експерт змушений працювати з великою множиною чинників, виконувати складне математичне моделювання, перевіряти декілька альтернативних сценаріїв і проводити статистичну оцінку ступеня впливу кожного пара-

метра. Це робить дослідження трудомістким, тривалим і залежним від повноти вихідних даних.

За сучасних умов одним із перспективних напрямів удосконалення наукових та експертних досліджень є використання технологій штучного інтелекту як інструменту підтримки. Штучний інтелект у цій сфері доцільно розглядати не як заміну судового експерта, а як допоміжний засіб інтелектуального аналізу даних, що дає змогу швидко опрацьовувати великі масиви технічної, експлуатаційної та текстової інформації, виявляти приховані закономірності між параметрами технічного стану вагонів і рейкової колії, класифікувати пригоди за типовими механізмами розвитку, прогнозувати ризикові поєднання факторів та підтримувати побудову цифрових моделей динамічної взаємодії рухомого складу і рейкової колії [5, с. 74].

Одним із перших напрямів застосування штучного інтелекту є аналіз матеріалів службового розслідування. Алгоритми обробки текстів можуть автоматизовано виділяти з актів, довідок, протоколів огляду, журналів технічного обслуговування та інших документів ключові відомості: тип вагона, місце й умови сходу, характер пошкоджень, технічний стан колії, параметри колісних пар, наявність дефектів і відхилень. Це дає можливість структурувати неформалізовану інформацію та зменшити ризик пропуску експертом важливих ознак.

Другим напрямом є інтелектуальний аналіз статистики сходів. На підставі статистичних даних алгоритми машинного навчання можуть визначати найбільш значущі фактори ризику настання пригоди, виявляти повторювані комбінації несправностей та умов руху, а також встановлювати, які саме параметри технічного стану рухомого складу мають найбільший вплив на ймовірність втрати стійкості його руху.

Третій напрям полягає у підтримці побудови математичних і комп'ютерних моделей динаміки руху рухомого складу. Штучний інтелект може використовуватися для відбору найбільш чутливих параметрів моделі, оптимізації кількості варіантів розрахункових сценаріїв, автоматичного ранжування впливових факторів та пошуку комбінацій, що відповідають фактичній слідовій картині пригоди.

Ще одним важливим напрямом є системи прогнозування небезпечних станів. За наявності достатньої кількості даних щодо стану колії, параметрів вагонів та умов руху поїзда можна створювати інтелектуальні моделі, які завчасно визначатимуть ділянки або вагони з підвищеним ризиком сходу. Можливість поєднання штучного інтелекту з концепцією цифрового двійника вагона або ділянки колії. У такому випадку на основі фактичних даних про зноси, геометричні параметри, жорсткісні характеристики, швидкісний режим та інші показники формується цифрова модель, здатна оцінювати поведінку конкретного об'єкта в реальних експлуатаційних умовах. Застосування інтелектуальних алгоритмів у межах такого цифрового двійника дає змогу прогнозувати розвиток дефектів і виявляти критичні стани ще до настання аварійної ситуації [6, 7]. Проте це вже належить не до експертної задачі, а радше до наукової роботи.

У будь-якому випадку використання штучного інтелекту має ґрунтуватися на обов'язковій верифікації вхідних даних, відповідності моделей фізичній природі процесів та контролі результатів з боку експерта. Рішення, сформовані інтелектуальною системою, не можуть автоматично визнаватися доказовими без їх технічної інтерпретації та професійної оцінки. Тому найбільш доцільною є модель, за якої штучний інтелект виконує функції ана-

лізу, ранжування, пошуку закономірностей і сценарного прогнозування, а остаточний висновок формує експерт.

Висновки. Проведений аналіз свідчить, що схід вантажних вагонів з рейкової колії є багатофакторною залізнично-транспортною пригодою, причини якої часто формуються внаслідок складної взаємодії технічного стану ходових частин вагона, параметрів рейкової колії, формування та режиму ведення поїзда. Це ускладнює встановлення безпосередньої технічної причини пригоди та потребує застосування методів багатофакторного аналізу.

Доведено, що традиційні підходи до експертного дослідження таких випадків мають низку обмежень, зумовлених неповнотою вихідних даних, деформацією елементів після сходу, трудомісткістю математичного моделювання та складністю виявлення прихованих причин. У зв'язку із цим перспективним напрямом є використання технологій штучного інтелекту, які можуть забезпечити прискорення й автоматизацію досліджень.

Водночас застосування штучного інтелекту повинно мати допоміжний характер і реалізовуватися лише в поєднанні з інженерним аналізом, математичним моделюванням і професійною оцінкою експерта. Саме такий підхід створює передумови для підвищення об'єктивності, швидкості та наукової обґрунтованості досліджень причин сходу рухомого складу з рейкової колії.

Список використаної літератури:

1. Кузишин А. Я. Дослідження впливу різниці діаметрів коліс колісної пари вагона на його схід методом квазідинаміки. *Криміналістика і судова експертиза : міжвідомчий науково-методичний збірник*. Київ, 2019. Вип. 64. С. 608-614.
2. Батіг А.В. Дослідження показників стійкості руху рухомого складу залізниць країн Європейського Союзу. *Криміналістика і судова експертиза : міжвідомчий науково-методичний збірник*. Київ, 2019. Вип. 64. С. 580-588.
3. Батіг А. В., Кузишин А. Я. Основні труднощі, які виникають при дослідженні технічного стану рухомого складу у випадку настання залізнично-транспортних пригод. *Актуальні питання судової експертології, криміналістики та кримінального процесу* : мат. міжн. наук.-практ. конф. (м. Київ, 5.11.2019 р.) / заг. ред. О. Г. Рувіна, Н. В. Нестор. Київ : КНДІСЕ МЮУ, 2019. С. 49.
4. Batig A., Kuzyshyn A., Sobolevska J., Milyanich A., and Hrytsyshyn P. Ways to improve the mathematical model of a freight car for the execution of forensic railway-transport expertises. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Volume 985, 15th International Scientific and Technical Conference «Problems of the railway transport mechanics» (PRTM 2020) 27-29 May 2020, Dnipro, Ukraine. DOI: 10.1088/1757-899X/985/1/012008.
5. Батіг А. В. Перспективи у об'єднанні експертного та штучного інтелекту при виконанні залізнично-транспортних експертиз. *Судово-експертна діяльність: проблеми, стратегії та інновації* : мат-ли міжнар. наук.-практ. конф. (Львів, Кишинів, Київ, Одеса, 28.11.2024). 2024. С. 74-76.

6. Кузін М., Батіг А., Джус О., Грицишин П. До питання автоматизації розрахункових обчислень при виконанні судових експертних досліджень. *Вплив інновацій на розвиток судової експертизи: від традиційних методів до цифрової трансформації* : мат-ли Всеукр. наук.-практ. конф. (Львів, 26.04.2024). Львів, 2024.
7. Батіг А. В. Застосування методів машинного навчання в задачах судової залізнично-транспортної експертизи. *Вплив інновацій на розвиток судової експертизи: від традиційних методів до цифрової трансформації* : мат-ли Всеукр. наук.-практ. конф. (Львів, 26.04.2024). Львів, 2024.

References:

1. Kuzyshyn, A. Ya. (2019). Doslidzhennia vplyvu riznytsi diametriv kolis kolisnoi pary vahona na yoho skhid metodom kvazydinamiky [Study of the influence of the difference in wheel diameters of a wagon wheelset on its derailment by the quasidynamic method]. *Kryminalistyka i sudova ekspertyza: mizhvidomchyi naukovo-metodychnyi zbirnyk*, 64, 608-614 [in Ukrainian].
2. Batih, A. V. (2019). Doslidzhennia pokaznykiv stiihosti rukhu rukhomoho skladu zaliznyts krain Yevropeiskoho Soiuzu [Study of motion stability indicators of rolling stock on the railways of the European Union countries]. *Kryminalistyka i sudova ekspertyza: mizhvidomchyi naukovo-metodychnyi zbirnyk*, 64, 580-588 [in Ukrainian].
3. Batih, A. V., & Kuzyshyn, A. Ya. (2019). Osnovni trudnoshchi, yaki vynykaiut pry doslidzhenni tekhnichnoho stanu rukhomoho skladu u vypadku nastannia zaliznychno-transportnykh pryhod [Main difficulties arising in the study of the technical condition of rolling stock in the event of railway transport accidents]. *Aktualni pytannia sudovoi ekspertolohii, kryminalistyky ta kryminalnoho protsesu: materialy mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii*, Kyiv, November 5, p. 49 [in Ukrainian].
4. Batig, A., Kuzyshyn, A., Sobolevska, J., Milyanych, A., & Hrytsyshyn, P. (2020). Waystoimprovethe mathematical model of a freight car for the execution of forensic railway-transport expertises. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 985, 012008. DOI: 10.1088/1757-899X/985/1/012008 [in English].
5. Batih, A. V. (2024). Perspektyvy u obiednanni ekspertnoho ta shtuchnoho intelektu pry vykonanni zaliznychno-transportnykh ekspertyz [Prospects for combining expert and artificial intelligence in conducting forensic railway-transport expertises]. *Sudovo-ekspertna diialnist: problemy, stratehii ta innovatsii: materialy mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii*, pp. 74-76 [in Ukrainian].
6. Kuzin, M., Batih, A., Dzhush, O., & Hrytsyshyn, P. (2024). Do pytannia avtomatyzatsii rozrakhunkovykh obchyslen pry vykonanni sudovykh ekspertnykh doslidzhen [On the issue of automation of computational calculations in forensic expert research]. *Vplyv innovatsii na rozvytok sudovoi ekspertyzy: vid tradytsiinykh metodiv do tsyfrovoi transformatsii: materialy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii*, Lviv [in Ukrainian].
7. Batih, A. V. (2024). Zastosuvannia metodiv mashynnoho navchannia v zadachakh sudovoi zaliznychno-transportnoi ekspertyzy [Application of machine learning methods in tasks of forensic railway-transport expertise]. *Vplyv innovatsii na rozvytok sudovoi ekspertyzy: vid tradytsiinykh metodiv do tsyfrovoi transformatsii: materialy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii*, Lviv [in Ukrainian].

Andrii Batih. Use of artificial intelligence in the study of the causes of freight wagon derailment from railway track

The article addresses current challenges in determining the causes of freight wagon derailments under conditions of an increasing number of railway transport accidents. The main types of rolling stock derailments, the statistical distribution of such cases by causes, as well as typical technical preconditions associated with the unsatisfactory condition of wagon running gear and railway track are analyzed. It is established that a significant proportion of derailment cases are caused not by a single defect but by a combination of interrelated factors that, under specific operating conditions, form a critical set of circumstances.

It is substantiated that traditional approaches to expert investigation of such accidents require improvement due to high labor intensity, difficulties in verifying initial data, the presence of latent causes, and the need to analyze a large number of parameters characterizing the dynamic interaction between rolling stock and railway track. The possibilities of artificial intelligence technologies are proposed as a promising tool for supporting expert investigations.

The main directions of their application are identified, including automated processing of investigation materials, detection of hidden patterns in datasets provided for analysis, classification of derailment causes, prediction of risk conditions, support for the development of mathematical and computer models of motion dynamics, and generation of scenarios representing the most unfavorable combinations of factors. Particular attention is paid to the use of intelligent algorithms for identifying critical states of technical parameters at which the probability of loss of running stability and derailment significantly increases.

It is emphasized that the use of artificial intelligence does not replace the expert but enhances the objectivity, speed, and completeness of the investigation, thereby creating prerequisites for more accurate determination of the causes of railway transport accidents.

Keywords: *traffic safety, rolling stock derailment, freight wagons, railway track, running gear, forensic engineering expertise.*

Дата першого надходження статті до видання: 03.06.2026.

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 25.06.2026.

Дата публікації (оприлюднення) статті: 05.08.2026.



Стаття поширюється на умовах ліцензії
відкритого доступу (CC BY 4.0)