



4 ЗАСТОСУВАННЯ НАУКОВИХ І ПРАКТИЧНИХ НАПРАЦЮВАНЬ У СУДОВО- ЕКСПЕРТНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ

УДК 343.98:004.8:656.2

 <https://doi.org/10.33994/kndise.2026.71.33>

Батіг Андрій Васильович

*магістр, старший науковий співробітник
Львівського науково-дослідного інституту
судових експертиз Міністерства юстиції України*

 <https://orcid.org/0000-0003-1205-6004>
ashabatig1992@gmail.com

Бібліографічний опис статті: Батіг А.В. (2026). Межі застосування штучного інтелекту у встановленні причинно-наслідкових зв'язків у залізнично-транспортних пригодах. *Криміналістика і судова експертиза*, 71, 511–518. doi: <https://doi.org/10.33994/kndise.2026.71.33>

МЕЖІ ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У ВСТАНОВЛЕННІ ПРИЧИННО-НАСЛІДКОВИХ ЗВ'ЯЗКІВ У ЗАЛІЗНИЧНО-ТРАНСПОРТНИХ ПРИГОДАХ

У статті досліджено особливості судової залізнично-транспортної експертизи як інструменту встановлення механізму залізнично-транспортних пригод та визначення їх безпосередніх технічних причин в умовах розвитку сучасних технологій, зокрема алгоритмів штучного інтелекту. Проблематика дослідження полягає у складності встановлення причинно-наслідкових зв'язків у залізнично-транспортних пригодах, зумовлених комплексною взаємодією технічних, експлуатаційних та організаційних чинників. **Метою до-**

слідження є комплексний аналіз особливостей встановлення причинності у судовій залізнично-транспортній експертизі, визначення ролі сучасних аналітичних технологій у цьому процесі та обґрунтування меж їх застосування. **Методологічною основою** роботи стали загальнонаукові та спеціальні методи дослідження, зокрема системно-структурний та порівняльний, а також метод аналізу й узагальнення експертної практики. Це дозволило розглянути механізм залізнично-транспортної пригоди як динамічну систему взаємодії технічних, експлуатаційних та організаційних чинників і визначити їх місце у формуванні причинного ланцюга події. **Наукова новизна** полягає в обґрунтуванні системного підходу до встановлення причинно-наслідкових зв'язків у залізнично-транспортних пригодах, а також у визначенні ролі алгоритмів штучного інтелекту як допоміжного інструменту аналізу. **Висновки** підкреслюється, що повна автоматизація визначення безпосередньої технічної причини залізнично-транспортної пригоди на сучасному етапі є неможливою, а найбільш перспективним є гібридний підхід «експерт-штучний інтелект».

Ключові слова: судова експертиза, штучний інтелект, причинно-наслідкові зв'язки, системний аналіз, технічні причини, автоматизація.

Batig Andriy

*Master, Senior Researcher,
Lviv Scientific Research Institute of Forensic Expertise
of the Ministry of Justice of Ukraine*



*<https://orcid.org/0000-0003-1205-6004>
ashabatig1992@gmail.com*

LIMITS OF THE APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ESTABLISHING CAUSATION IN RAILWAY TRANSPORT ACCIDENTS

To cite this article: Batig A.V. (2026). Mezhi zastosuvannia shtuchoho intelektu u vstanovlenni prychynno-naslidkovykh zviazkiv u zaliznychno-transportnykh pryhodakh [Limits of the application of artificial intelligence in establishing causation in railway transport accidents]. *Criminalistics and Forensics*, 71, 511–518. doi: <https://doi.org/10.33994/kndise.2026.71.33>

The article examines the features of forensic railway transport examination as a tool for establishing the mechanism of railway accidents and determining their direct technical causes in the context of the development of modern technologies, particularly artificial intelligence algorithms. The research problem lies in the complexity of establishing causal relationships in railway accidents caused by the complex interaction of technical, operational, and organizational factors. **The purpose**

of the study is to provide a comprehensive analysis of the specifics of causality determination in forensic railway transport examination, to identify the role of modern analytical technologies in this process, and to substantiate the limits of their application. **The methodological basis** of the study is based on general scientific and special research methods, including the system-structural method, comparative analysis, and methods of analysis and generalization of expert practice. This approach made it possible to consider the mechanism of a railway accident as a dynamic system of interaction between technical, operational, and organizational factors and to determine their role in the formation of the causal chain of the event. **The scientific novelty** of the study lies in substantiating a systemic approach to establishing causal relationships in railway accidents, as well as in defining the role of artificial intelligence algorithms as an auxiliary analytical tool. **The conclusions** emphasize that full automation of determining the direct technical cause of a railway accident is currently impossible, and the most promising approach is a hybrid “expert–artificial intelligence” model.

Key words: forensic examination, artificial intelligence, causal relationships, system analysis, technical causes, automation.

Постановка проблеми

Судова залізнично-транспортна експертиза спрямована на встановлення механізму залізнично-транспортних пригод та визначення їхніх безпосередніх технічних причин. Відповідно до системного підходу, механізм залізнично-транспортної пригоди розглядається як упорядкована сукупність взаємопов'язаних елементів, що перебувають у динамічній взаємодії та формують причинний ланцюг розвитку пригоди. Такий підхід передбачає аналіз не окремих параметрів, а структури їх взаємозв'язків у межах єдиної моделі механізму.

У сучасних умовах цифровізації транспортної галузі та активного впровадження алгоритмів штучного інтелекту постає принципове питання: чи може ШІ встановлювати причинно-наслідкові зв'язки у складних транспортних механізмах, зокрема таких як випадки сходу рухомого складу з рейкової колії?

Проблема полягає в тому, що більшість алгоритмів машинного навчання оперують статистичними залежностями (кореляціями), тоді як судова експертиза вимагає встановлення саме причинності – тобто визначення механізму переходу від причин до наслідку. Таким чином, виникає необхідність чіткого окреслення меж допустимого використання ШІ у сфері судово-експертної діяльності

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Останніми роками питання застосування штучного інтелекту у сфері транспортної безпеки активно розвивається у напрямках ав-

томатизованого технічного контролю інфраструктури й рухомого складу, прогнозування аварійних подій, створення цифрових двійників та впровадження причинно-орієнтованих моделей аналізу. Найбільш поширеними є дослідження з використанням комп'ютерного зору та глибокого навчання для виявлення дефектів рейок, скріплень і елементів рухомого складу, що розглядаються як потенційні передумови пригод [1, 2]. Окремий напрям становлять моделі прогнозування деградації параметрів колії та ризиків небезпечних станів на основі машинного навчання, однак вони здебільшого орієнтовані на статистичний прогноз, а не на реконструкцію механізму пригоди [3, 5].

Значний інтерес викликають цифрові двійники та симуляційні моделі, які дозволяють відтворювати сценарії розвитку аварійних ситуацій у віртуальному середовищі та аналізувати динамічну взаємодію систем. Паралельно у транспортних дослідженнях з'являються роботи з використанням Causal ML та причинних мереж, спрямовані на перехід від кореляційного до причинного аналізу, проте їх застосування у судово-експертній практиці потребує адаптації до вимог доказовості та системного підходу [6].

Напрацювання експертів Львівського науково-дослідного інституту судових експертиз у сфері судової експертизи акцентують увагу на те, що ШІ може підвищувати ефективність аналізу даних і моделювання сценаріїв, однак встановлення причинно-наслідкових зв'язків вимагає верифікації інформації та дослідження значного масиву факторів та обставин, які супроводжували пригоду. Будь-яка залізнично-транспортна пригода формується під впливом сукупності технічних, динамічних, експлуатаційних і організаційних чинників, кожен з яких може мати різну вагу у механізмі пригоди. Саме системний аналіз цієї взаємодії дозволяє встановити причинний ланцюг та визначити безпосередню технічну причину, що виходить за межі суто алгоритмічного опрацювання даних [6, 7].

Мета дослідження

Мета дослідження – комплексний аналіз можливостей та меж застосування штучного інтелекту при встановленні причинно-наслідкових зв'язків у механізмі залізнично-транспортних пригод, визначення ролі експерта у процесі формування структурної моделі пригоди та обґрунтування доцільності використання гібридної моделі «експерт–ШІ».

Виклад основного матеріалу

Встановлення причинно-наслідкових зв'язків у залізнично-транспортних пригодах здійснюється на основі системного аналізу, відповідно до якого причинність трактується як результат взаємодії морфологічних, функціонально-динамічних та енергетичних

зв'язків між елементами складної технічної системи, що перебували у динамічній взаємодії в період розвитку пригоди. Такий підхід передбачає дослідження не лише наявності відхилень параметрів технічних систем, конструктивних елементів, а й визначення їх ролі у формуванні аварійної ситуації та розвитку механізму пригоди. У процесі дослідження експерт диференціює інформацію на достовірну, явно хибну та ймовірну, формує модель механізму залізнично-транспортної пригоди як систему взаємопов'язаних підсистем і встановлює ланцюг проміжних технічних причин, що призвели до формування безпосередньої технічної причини. Таким чином, причинність у судовій залізнично-транспортній експертизі має структурний характер і визначається через аналіз механізму розвитку пригоди, а не через статистичну повторюваність подій, що принципово відрізняє експертний підхід від алгоритмічного аналізу великих даних.



Рис. 1. Приклад побудованого експертом механізму сходу рухомого складу з рейкової колії

Алгоритми машинного навчання орієнтовані на обробку великих масивів інформації та виявлення закономірностей у даних. Вони здатні класифікувати пригоди, прогнозувати ймовірність їх настання, виявляти приховані статистичні залежності та формувати рейтинги ризиків, демонструючи високу ефективність при аналізі експлуатаційних даних у транспортній сфері. Проте принциповою особливістю алгоритмів ШІ є робота з кореляційними зв'язками без розмежування причинності та статистичної залежності, без логічної реконструкції механізму пригоди та без проведення експертної верифікації інформації. Наприклад, алгоритм може встанови-

ти, що більшість сходів рухомого складу з рейкової колії пов'язані з несправностями ходових частин вагонів, однак він не визначає, яка саме несправність стала першопричиною чи проміжною причиною, чи існувала реальна можливість запобігання пригоді (рис. 7). Отже, функціональні можливості ШІ обмежуються сферою статистичного аналізу, тоді як встановлення причинності потребує структурного мислення та нормативної оцінки [6].

Матеріали кримінальних та господарських проваджень у справах про залізнично-транспортні пригоди зазвичай містять фрагментарну, неоднорідну й інколи суперечливу інформацію, що потребує логічної реконструкції механізму пригоді, верифікації джерел даних та інтерпретації результатів. ШІ здатний аналізувати наявні дані, проте не може відновити відсутні фрагменти механізму, які не зафіксовані у матеріалах справи, тоді як експерт здійснює реконструкцію пригоді, спираючись на професійний досвід, системне бачення та нормативну базу. До прикладу, схід рухомого складу з рейкової колії, як правило, є наслідком складної комбінації відхилень геометрії колії, стану візків вагонів, режиму ведення поїзда та динамічних навантажень, причому кожен із цих факторів окремо може не створювати загрози безпеці руху і тільки їхня сукупність може її сформулювати в конкретній ситуації. ШІ може визначити вагу факторів у статистичній моделі, однак не формує структурну модель їх взаємодії в конкретній пригоді оскільки причинність у таких випадках має системний характер. Статистична модель описує ймовірність пригоді за наявності певного фактору, тоді як структурна модель відображає механізм розвитку процесу через послідовність змін параметрів, що призводять до втрати стійкості та сходу рухомого складу з рейкової колії. Саме ця відмінність між ймовірнісним і механістичним підходом є принциповою межею автоматизації встановлення причинності [7].

Незважаючи на зазначені обмеження, штучний інтелект може виступати ефективним допоміжним інструментом при попередньому аналізі великих масивів даних, виявленні аномалій параметрів, автоматизованій перевірці відповідності нормативам, аналізі великих масивів даних та моделюванні сценаріїв на основі розрахункових моделей. Найбільш перспективним є впровадження гібридної моделі «експерт–ШІ», що поєднує математичні моделі динаміки руху, модулі машинного навчання та експертну інтерпретацію результатів. У такій системі ШІ генерує можливі сценарії розвитку подій, ранжує ризики та визначає чутливість параметрів, тоді як експерт встановлює причинний ланцюг, здійснює нормативну оцінку та формує висновок. Подібний підхід дозволяє використати обчислювальні можливості алгоритмів без підміни експертної функції та забезпечує методологічну стійкість судово-експертних висновків.

Висновки

Штучний інтелект є ефективним інструментом у задачах класифікації, прогнозування та аналітичної обробки великих масивів даних. Однак встановлення причинно-наслідкових зв'язків у залізнично-транспортних пригодах має структурно-системний характер і не зводиться до статистичних залежностей.

На сьогодні повна автоматизація встановлення безпосередньої технічної причини залізнично-транспортної пригоди є неможливою. Найбільш перспективним напрямом є гібридний підхід, у якому ШІ виконує допоміжну аналітичну функцію, а експерт здійснює побудову механізму пригоди та формування висновку.

Список використаних джерел:

1. Islam M. et al. Data-driven modeling of rail damage using machine learning techniques. Proceedings of the 40th International Conference on Nondestructive Evaluation. 2022. URL: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acsnm.2c03564> (дата звернення: 10.01.2026).
2. Keško A., Puška H. Artificial intelligence in predictive maintenance and fault detection on railway tracks. Advanced Technologies, Systems and Applications : conference proceedings. 2024. P. 128–134. URL: <https://www.atct.ba/conference-proceedings/2024/18-artificial-intelligence-in-predictive-maintenance-and-fault-detection-on-railway-tracks.pdf> (дата звернення: 11.01.2026).
3. Liao Y., Han L., Wang H., Zhang H. Prediction models for railway track geometry degradation using machine learning: a review. Sensors. 2022. Vol. 22, № 19. Article 7275. DOI: <https://doi.org/10.3390/s22197275>.
4. Ahmed M., Palese J. W., Zarembski A. Predicting Track Geometry Using Machine-Learning Methods : research report. Newark : University of Delaware, 2023. 75 p. URL: https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/80897/dot_80897_DS1.pdf (дата звернення: 20.01.2026).
5. Hume P. C., Gräbe H., Markou G. Using machine learning techniques as track geometry predictors for railway track. Civil Engineering. 2024. Vol. 32, № 9. P. 27–32.
6. Батіг А. В. Перспективи у об'єднанні експертного та штучного інтелекту при виконанні залізнично-транспортних експертиз. Судово-експертна діяльність: проблеми, стратегії та інновації : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (Львів, Кишинів, Київ, Одеса, 28 листопада 2024 р.). С. 74–76. URL: <https://hdl.handle.net/11300/31202> (дата звернення: 01.03.2026).
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 : матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. (м. Львів, 26 квітня 2024 р.). Львів : ЛНДІСЕ МЮ України, 2024. 219 с.

References:

1. Islam M. et al. (2022). Data-driven modeling of rail damage using machine learning techniques. Proceedings of the 40th International

Conference on Nondestructive Evaluation. URL: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acsnm.2c03564> (accessed: 10.01.2026) [in English].

2. Keško A., Puška H. (2024). Artificial intelligence in predictive maintenance and fault detection on railway tracks. *Advanced Technologies, Systems and Applications: Conference Proceedings*, 128–134. URL: <https://www.atct.ba/conference-proceedings/2024/18-artificial-intelligence-in-predictive-maintenance-and-fault-detection-on-railway-tracks.pdf> (accessed: 11.01.2026) [in English].

3. Liao Y., Han L., Wang H., Zhang H. (2022). Prediction models for railway track geometry degradation using machine learning: a review. *Sensors*, 22(19), Article 7275. DOI: <https://doi.org/10.3390/s22197275> [in English].

4. Ahmed M., Palese J.W., Zarembski A. (2023). Predicting Track Geometry Using Machine-Learning Methods: research report. Newark: University of Delaware. 75 p. URL: https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/80897/dot_80897_DS1.pdf (accessed: 20.01.2026) [in English].

5. Hume P.C., Gräbe H., Markou G. (2024). Using machine learning techniques as track geometry predictors for railway track. *Civil Engineering*, 32(9), 27–32 [in English].

6. 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 railway transport examinations]. *Sudovo-ekspertna diialnist: problemy, stratehii ta innovatsii: materialy mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii*, Lviv, Chisinau, Kyiv, Odesa, November 28, 2024, 74–76. URL: <https://hdl.handle.net/11300/31202> (accessed: 01.03.2026) [in Ukrainian].

7. Batih A.V. (2024). Zastosuvannia metodiv mashynnoho navchannia v zadachakh sudovoi zaliznychno-transportnoi ekspertyzy [Application of machine learning methods in the tasks of forensic railway transport examination]. *Vplyv innovatsii na rozvytok sudovoi ekspertyzy: vid tradytsiinykh metodiv do tsyfrovoy transformatsii: materialy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii*, Lviv, April 26, 2024. Lviv: LNDISE Miu Ukrainy. 219 p. [in Ukrainian].

Надійшла до редакції / Received: 24.02.2026

Отримана після доопрацювання / Received after revision: 16.04.2026

Прийнято до друку / Accepted for publication: 17.04.2026

Опубліковано / Published: 29.05.2026

Фінансування: відсутнє / Funding: none.

Конфлікт інтересів: автор(и) заявляє(ють) про відсутність конфлікту інтересів / Conflict of interest: the author(s) declare no conflict of interest.

Дотримання етичних норм: дослідження виконано з дотриманням принципів академічної доброчесності / Ethical compliance: the study was conducted in accordance with the principles of academic integrity.

Дані дослідження: усі дані, необхідні для обґрунтування висновків, наведено у статті / Research data: all data necessary to substantiate the conclusions are presented in the article.