

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

УДК 656.25:656.216.2

М. Б. КУРГАН^{1*}, Д. М. КУРГАН², М. А. ГУСАК³, М. О. ГАВРИЛОВ⁴,
О. Ф. ЛУЖИЦЬКИЙ⁵

^{1*}Каф. «Транспортна інфраструктура», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 48, ел. пошта kunibor@gmail.com, ORCID 0000-0002-8182-7709

²Каф. «Транспортна інфраструктура», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 42, ел. пошта kurhan.d@gmail.com, ORCID 0000-0002-9448-5269

³Каф. «Транспортна інфраструктура», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 48, ел. пошта marka2410@gmail.com, ORCID 0000-0001-8187-7792

⁴Каф. «Транспортна інфраструктура», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 48, ел. пошта maxgavrilla@gmail.com, ORCID 0000-0002-1321-170X

⁵Каф. «Транспортна інфраструктура», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 48, ел. пошта oleg.luzhickii@gmail.com, ORCID 0000-0001-6519-7447

Оцінка безпеки руху транспортних засобів на перетині автомобільної дороги й залізниці в одному рівні

Мета. Основною метою нашої статті є оцінка стану безпеки руху транспортних засобів на перетині автомобільної дороги й залізниці в одному рівні, а також розробка заходів щодо підвищення безпеки руху. У зв'язку з тим, що оцінка ступеня безпеки дорожнього руху на залізничних переїздах є одним із головних завдань як дорожньої експлуатаційної служби, так і служб залізничного транспорту, доцільно впровадити систему оцінки рівня безпеки для виявлення небезпечних ділянок і впровадження заходів із поліпшення умов руху на них. **Методика.** Для отримання вихідних даних і методики оцінки стану безпеки руху транспортних засобів на перетині автомобільної дороги й залізниці в одному рівні автори провели огляд світової літератури за темою дослідження. На основі аналізу різних методичних підходів було обрано метод підсумкового коефіцієнта аварійності, який дає змогу оцінити стан безпеки в результаті проведеної модернізації чи нових проектних рішень, тобто в умовах відсутності даних про ДТП. **Результати.** З'ясовано, що за величиною підсумкового коефіцієнта аварійності залізничні переїзди можна віднести до одного з чотирьох класів: безпечні, малобезпечні, небезпечні, дуже небезпечні. Досліджено питання зниження ризику аварійності у випадку взаємодії залізничного й автомобільного транспорту. **Наукова новизна.** Набули подальшого розвитку наукові підходи до оцінки безпеки руху транспортних засобів на перетині автомобільної дороги й залізниці в одному рівні з обчисленням коефіцієнтів аварійності та показників безпеки на основі даних підсистеми «АІС Переїзд», яку впроваджують на залізницях України. **Практична значимість.** Отримані результати будуть корисні для проведення заходів із підвищення безпеки руху транспорту на залізничних переїздах, особливо на напрямках упровадження швидкісного руху поїздів. Застосування автоматизованої інформаційної підсистеми «АІС Переїзд» дозволить без додаткових трудових витрат за методом підсумкового коефіцієнта аварійності оцінювати безпеку руху залізничного й автотранспорту в зоні залізничних переїздів.

Ключові слова: залізничний переїзд; безпека руху; дорожньо-транспортна пригода (ДТП); автоматизована інформаційна підсистема «АІС Переїзд»; метод підсумкового коефіцієнта аварійності

Вступ

Безпека дорожнього руху сьогодні є головним елементом розвитку суспільства. Міжнародне співтовариство приділяє значну увагу розробленню та втіленню практичних заходів

з безпеки дорожнього руху, спрямованих на запобігання дорожньо-транспортному травматизму.

Основним політичним документом у галузі безпеки дорожнього руху є політична заява, ухвалена Організацією Об'єднаних Націй

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

10 жовтня 2019 р., щодо концентрації дій та досягнень у галузі безпеки дорожнього руху в рамках наступного десятиліття до 2030 року.

Безпека руху на залізничному транспорті – це складний комплекс проблем, пов'язаних із рухомим складом, автоматизацією керування рухом, а також системою сигналізації та інфраструктури. Залізничний транспорт створює багато потенційних ризиків. Залізничні переїзди, на яких автомобільні дороги перетинаються із залізницями в одному рівні являють собою місця, де виникають і можуть виникнути небажані наслідки як для автомобільного, так і залізничного руху.

Залізничні переїзди на цьому етапі слід сприймати як необхідність і вживати всіх доступних заходів, щоб зменшити негативні наслідки. На них порушується безперервність руху автотранспорту, а в ряді випадків і залізничного транспорту, що призводить до підвищеного енергоспоживання, забруднення довкілля, втрат часу пасажирів і персоналу, збільшення часу на перебування в рейсі рухомого складу, зниження пропускної спроможності. До негативних наслідків також належать витрати на утримання залізничного переїзду та витрати на деякі інвестиційні проекти. Очевидно, що проблем, пов'язаних із залізничними переїздами, багато, але головна полягає у стійкому керуванні безпекою дорожнього руху. Стійке керування транспортною системою в умовах невизначеності та невідповідної дорожньої інфраструктури є відповідальним і складним завданням. У зв'язку з вищевикладеним потрібно постійно вживати певних заходів для зведення цієї небезпеки до мінімуму.

Постановою Кабінету Міністрів України від 21 грудня 2020 р. № 1287 затверджена Державна програма підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2023 року. Метою Програми є зниження рівня аварійності та ступеня тяжкості наслідків дорожньо-транспортних пригод відповідно до цілей, визначених Стратегією підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2024 року. У ній передбачено заходи з підвищення безпеки дорожнього руху на залізничних переїздах, зокрема, ліквідація перетинів доріг і залізничних колій в одному рівні в місцях концентрації дорожньо-транспортних пригод

і на дільницях пришвидшеного руху поїздів, із будівництвом автомобільних шляхопроводів (тунелів) на перетині із залізничними коліями.

Територією України пролягає сім транспортних коридорів загальною довжиною 5,27 тис. км. Це міжнародні транспортні коридори: № 3 Берлін – Вроцлав – Львів – Київ; № 5 Венеція – Трієст – Любляна – Будапешт – Ужгород – Львів; № 9 Гельсінкі – Москва – Київ – Кишинів – Бухарест – Александрополіс. Національні транспортні коридори: Балтійське море – Чорне море; Європа – Азія; Чорноморське Економічне Співробітництво; Євразійський. «Вузкими місцями» в транспортних коридорах є велика кількість переїздів через залізниці, а також відсутність об'їзних доріг у деяких місцях України.

Мета

Основною метою нашої статті є оцінка стану безпеки руху транспортних засобів на перетині автомобільної дороги та залізниці в одному рівні, а також розробка заходів щодо підвищення безпеки. Оскільки оцінка ступеня безпеки дорожнього руху на залізничних переїздах є одним із головних завдань як дорожньої експлуатаційної служби, так і служб залізничного транспорту, доцільно впровадити систему оцінки рівня безпеки для виявлення небезпечних ділянок.

Методика

Для зниження кількості аварій та підтримання рівня безпеки на залізничних переїздах в різних країнах були проведені численні дослідження. 1999 р. в Австрії була сформована проектна група, на яку покладалося завдання створення технічних засобів і рекомендацій щодо оцінки й нагляду за роботою переїздів, а також створення бази даних залізничних переїздів. Пізніше, на засіданні Австралійської транспортної ради (АТС) у травні 2003 року, був прийнятий інноваційний метод оцінки ризиків. Наразі у всіх австралійських штатах і в Новій Зеландії застосовують дорожню модель ALCAM. Вона складається з трьох окремих компонентів: моделі інфраструктури, моделі експозиції та моделі наслідків. У поєднанні

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

ці три компоненти утворюють унікальний показник ризику для кожного переїзду [28].

Представляють інтерес напрацювання Групи експертів із підвищення безпеки на залізничних переїздах у країнах-членах ЄЕК ООН та інших обраних країнах [8], що було пов'язано з відсутністю уніфікованих визначень і методів. Результати опитування показали, що всі 22 країни-респонденти визнають людський фактор як основну причину аварій на залізничних переїздах. З'ясовано, що технічні рішення мають обмежене застосування через фінансову неможливість заміни всіх переїздів естакадними чи підземними переходами або встановлення сучасного обладнання для попередження чи виявлення небезпеки, коли до переїзду наближається поїзд.

До аналогічного висновку дійшли автори в роботі [26]. За допомогою анкет і візуального огляду вони визначили ризики безпеки та небезпечні події на деяких залізничних переїздах транзитного маршруту Аддис-Абеба (AA–LRT) північпівдень (N–S). Виявлені ризикові події були класифіковані на основі принципу ALARP та загальної матриці рейтингу ризиків. Результати дослідження показали, що близько 22 % небезпек, визначених за категоріями, пов'язані з людським фактором, тоді як 20 % викликані технічними причинами.

На залізничних переїздах Нової Зеландії спочатку застосовували австралійську модель оцінки аварійних переїздів ALCAM, яку вважають однією з найкраще розроблених моделей залізничних переїздів на міжнародному рівні. Але й вона має свої обмеження, якщо її використовують окремо. ALCAM недостатньо детально враховує вплив на безпеку, яку створює навколишня транспортна мережа [29]. Враховуючи це у Новій Зеландії запровадили нову систему оцінки ризику – модель LCSS [21], у якій для отримання об'єктивної інформації про залізничні переїзди розглядають три додаткові показники, пов'язані з ризиком аварій: історичні дані про аварії та інциденти, спостереження за безпекою руху, а також оцінку впливу наявної схеми залізничного переїзду та її взаємодії з навколишньою транспортною мережею. Такий підхід допомагає визначити, чи потрібно оновлювати наявні залізничні переїзди.

Залізничні переїзди (RLC) є серйозною проблемою безпеки на міжнародному рівні. У Європі залізничних переїздів понад 100 000, у Північній Америці – понад 200 000. У середньому щороку близько 400 осіб у Європейському Союзі та понад 300 у США гинуть унаслідок аварій на залізничних переїздах. Безперервна професіоналізація керування безпекою на європейських залізницях не завжди дає бажаний ефект зниження ризику до допустимого рівня. Прикладом є безпека на залізничних переїздах у Польщі. Для вирішення цієї проблеми в роботі [17] запропоновано нову модель систем безпеки, яка допомагає зрозуміти відношення між елементами системи безпеки, функціями безпеки, небезпеками та їх джерелами.

Підвищення безпеки на RLC залишається важливим соціальним завданням як у Європейському Союзі, так і в інших країнах світу. У роботах [12, 19] запропоновано новий підхід до оцінки безпеки на RLC із використанням неадіальної моделі DEA (аналізу оболонки даних) на прикладі залізниць Словенії. Для перевірки достовірності модифікованої неадіальної моделі DEA було проведено аналіз чутливості. Результати аналізу вказали на деякі недоліки неадіальної моделі DEA, пов'язані з відсутніми та неточними даними, кількістю включених змінних та вибором вхідних і вихідних даних. Запропонована у статті модифікована неадіальна модель DEA з повним набором даних може бути використана для оцінки ефективності підвищення безпеки на RLC.

Мета дослідження [22] полягала в тому, щоб розробити автоматизовану систему залізничних переїздів, яка знизить імовірність зіткнення поїздів з учасниками дорожнього руху. Спеціально розроблена система захисту залізничних переїздів, вважають автори, є економічно ефективною, зручною й безпечною та найкраще підходить для впровадження на залізниці.

Однорівневі перетини автомобільних доріг та залізниць (HRGC) є критичними просторовими об'єктами, що мають першорядне значення для безпеки руху транспорту. Використовуючи національну базу даних про HRGC та дані про аварії за 5 років в Оклахомі (штат на південному заході США), автори [30] розробили керований процес ієрархічної оцінки HRGC з розподілом на класи, який передбачає чотири

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

рівні аналізу: практичні рекомендації, індекс безпеки, ранжування, аналіз безпеки та повний інвестиційний аналіз. У роботі [9] розглянуто залізничні переїзди в Боснії та Герцеговині на ділянці Шамац–Добой. Сформовано п'ятнадцять різних показників, які поділено на три групи: критерії безпеки, характеристики експлуатації автомобільних доріг та характеристики експлуатації залізниць. Для визначення критеріїв значущості сформовано нову інтегровану нечітку модель FUCOM. Результати показали, що переїзди LC4 і LC8 є найбільш безпечними за всіма 15 критеріями. Автори запропонували заходи щодо забезпечення стійкої роботи залізничної системи.

Метою дослідження [11] став аналіз ризиків, пов'язаних із переїздами автомобільних доріг (HRC), й оцінка попередніх досліджень, проведених у США та Канаді. Щоб зменшити частоту аварій і тяжкість травм, було розглянуто моделі, які часто використовують для автомобільної та залізничної мережі. Порівняння моделей виконано з урахуванням: основних характеристик залізниці, які впливають на ймовірність ДТП на переїздах (швидкість поїзда, кількість залізничних колій і їхній стан, кількість поїздів за добу, геометричні параметри залізниці, помітність поїзда); дорожніх факторів (стан дорожнього полотна, геометричні параметри автодороги, тип транспортного засобу, інтенсивність дорожнього руху, кількість смуг, тип і ширина дорожнього покриття, освітленість тощо); факторів навколишнього середовища (погодні умови, умови освітлення, час доби та пора року); людських чинників (стать, вік, рівень кваліфікації й реакції водія). У цьому контексті слід зазначити, що людський фактор вивчено недостатньо, хоча він є одним із найважливіших і може суттєво вплинути на безпеку.

Зіткнення учасників дорожнього руху і поїздів на залізничних переїздах (RLC) залишається складною проблемою. Автори [25] провели систематичний пошук і виявили 88 досліджень, опублікованих за 30-річний період – із 1989 по 2019 рік. Ці дослідження по класифіковано за типом вимірюваного або проаналізованого результату: частота й тяжкість аварій; небезпечна та невідповідна поведінка учасників дорожнього руху; сприйняття ризику, ставлення та переконання учасників дорожнього руху.

Фактори, що впливають на ризик під час RLC, по класифіковано за допомогою техніки відображення нещасних випадків і системного аналізу. Установлено, що більшість факторів, виявлених під час досліджень, стосуються фізичних характеристик самого переїзду, його функціонування, а також поведінки та характеристик учасників дорожнього руху. Виявлено, що взаємодіям між факторами приділено недостатньо уваги. На додаток до людських і соціальних витрат ці події тягнуть за собою істотні економічні збитки.

У роботі [16] зазначено, що в Новій Зеландії за наявності майже 1 400 залізничних переїздів загального користування по всій країні реконструктивні заходи потребують значних ресурсів та довгострокової програми. Комісія визнає прогрес, якого досягло транспортне агентство Waka Kotahi NZ та KiwiRail у виконанні рекомендацій, у тому числі введення Посібника з оцінки впливу на безпеку залізничних переїздів, який допомагає визначити, чи потрібно модернізувати залізничні переїзди, чи потрібне відповідне вдосконалення. Указано, що в Ново-зеландському залізничному плані, опублікованому у травні 2021 року, підвищення безпеки залізничних переїздів визначено як пріоритет для інвестицій у наступне десятиліття.

Переїзди стали головною темою для Управління залізниць і доріг (ORR) Великобританії. У роботі [24] наголошено, що на більш ніж 7 000 залізничних переїздів у Великобританії не існує універсального підходу до безпеки, кожен із них є унікальним, а тому слід упроваджувати інновації, що підвищують безпеку їх перетинання. Принципи ORR із керування безпекою покликані знизити ризики шляхом розгляду альтернатив залізничним переїздам, а там, де це практично неможливе, шляхом їх реконструкції.

Проведений в останні роки статистичний аналіз аварій на Литовських залізницях показав, що близько 30 % із них відбувається саме на залізничних переїздах. У статті [10] наведено оцінку рівня безпеки на залізничних переїздах із врахуванням таких технічних критеріїв, як категорія перетину, видимість, інтенсивність руху поїздів та автомобільного транспорту, ширина залізничного переїзду й максимальна швидкість поїздів. За допомогою бінарної мо-

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

делі логістичної регресії розраховано ймовірність аварій на 337 залізничних переїздах Литви.

У [27] на основі представленої бази даних країн ERA показано, що технічні рішення мають обмежене застосування, а тому для поліпшення інформування про наближення поїздів та для інформування водіїв автотранспортних засобів рекомендовано використовувати супутникову радіонавігаційну систему (Global Position System), яка забезпечує високоточне визначення координат і швидкості об'єктів, а також точне визначення часу.

Науковий інтерес представляє визначення затримок транспортних засобів, вантажів і пасажирів на переїздах, які є бар'єрними місцями на напрямках міжнародних транспортних коридорів [3]. Під час проведення модернізації залізничної колії потрібно виконувати роботи з постановки осі колії в проектне положення в профілі й плані, ремонт або перевлаштування переїздів. Це пов'язано з тим, що в зонах переїзду виникають вертикальні й горизонтальні нерівності колії. Якщо вони й не створюють небезпеки для руху поїздів, то впливають на плавність руху та знижують рівень комфортабельності їзди [5]. Через відсутність достатнього фінансування та інші об'єктивні причини вищезазначені роботи не виконують у повному обсязі, що впливає на плавність й безпеку руху поїздів. Аналіз проектів капітальних ремонтів і модернізації колії, а також натурні спостереження показали, що на підходах у зоні розташування переїздів виникають нерівності в плані, так звані «злами». Моніторинг розвитку нерівностей колії в зоні переїзду та аналітичні обґрунтування зміни характеристик напружено-деформаційної роботи колії в місці укладання переїзду наведено в роботах авторів [4].

Короткий огляд наукових праць мав на меті визначити основні фактори та їх вплив на ризики безпеки на залізничних переїздах в багатьох країнах.

У роботі [7] проаналізовано динаміку дорожньо-транспортних подій та проведено аналіз стану травматизму на залізничних переїздах України за останні роки, розглянуто питання зниження ризику аварійності в разі взаємодії різних видів транспорту. На жаль, найбільша кількість ДТП щороку трапляється на переїз-

дах, переважно через недотримання водіями правил безпеки руху, що пов'язані з ліквідацією наслідків транспортних подій, усуненням можливих загроз та іншими заходами. В Україні, у середньому, кожна четверта ДТП на залізничних переїздах – із летальним наслідком (на мережі доріг 1 загиблий на 30 ДТП). Небезпеки зазнають водії та пасажирів автотранспорту, а також пасажирів поїздів, члени локомотивних бригад, провідники та інший персонал, який перебуває як в поїздах, так і поза їх межами. Загроза суттєво збільшується під час перевезення небезпечних вантажів через можливі катастрофічні наслідки. Матеріальні збитки від транспортних подій, допущених 2020 року, становили 14,63 млн грн, що є найбільшим показником за останні три роки.

2020 року на залізничних переїздах і коліях поза переїздами регіональних філій АТ «Укрзалізниця» сталося 59 випадків ДТП, у тому числі 50 випадків на переїздах і 9 на коліях поза переїздами. Унаслідок ДТП загинуло 8 осіб і 31 травмовано (табл. 1). Порівняно з 2019 роком загальна кількість ДТП скоротилась з 70 до 59 [2]. Найбільше випадків ДТП виникало на переїздах без чергового, обладнаних сигналізацією, де сталося 35 випадків зіткнень автотранспортних засобів із рухомим складом залізниць. У цих ДТП загинуло 6 осіб і травмовано 23.

Таблиця 1

**ДТП на залізничних переїздах і коліях
із 2019 по 2021 рр., од.**

Table 1

**Road accidents at railway crossings and tracks
from 2019 to 2021, unit**

| Роки | Назва події | | | |
|------|------------------|---------------------|----------|------------|
| | ДТП на переїздах | ДТП поза переїздами | Загинуло | Травмовано |
| 2019 | 60 | 10 | 15 | 25 |
| 2020 | 50 | 9 | 8 | 31 |
| 2021 | 70 | 7 | 11 | 24 |

Результати аналізу аварійності на залізничних переїздах наведено в табл. 2, із якої випливає, що кількість переїздів 1 км найменша в Україні порівняно зі США та європейськими

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

країнами, а кількість аварій, що сталися на переїздах, найбільша саме в Україні. Такі результати дають привід до застосування додаткових пристроїв або до перетину залізниць з автодорогами на різних рівнях.

Проблема ДТП на залізничних переїздах є актуальною і за межами нашої держави. Так, у табл. 2 наведено інформацію про стан аварійності на залізничних переїздах Сполучених Штатів Америки (за даними Федеральної адмі-

ністрації залізничного транспорту (FRA)) [15, 23].

У США нараховується близько 210 тисяч перетинів автомобільних доріг із залізничними коліями в одному рівні, із них тільки 46 тисяч обладнані шлагбаумами. У табл. 2 наведена для порівняння інформація про стан аварійності на залізничних переїздах Німеччини, Великобританії і країн Європи EU–28 за даними Європейської асоціації ERA [13, 14].

Таблиця 2

Стан аварійності на залізничних переїздах

Table 2

Accident rate at railway crossings

| Країна | Кількість переїздів | Експлуатаційна довжина залізниць, км | Кількість переїздів на 1 км | Кількість ДТП | Кількість аварій на 100 переїздів |
|----------------|---------------------|--------------------------------------|-----------------------------|---------------|-----------------------------------|
| США | 209 771 | 293 564 | 0,715 | 1 914 | 0,912 |
| Німеччина | 15 758 | 43 468 | 0,363 | 66 | 0,419 |
| Великобританія | 6 651 | 17 732 | 0,375 | 11 | 0,165 |
| EU–28 | 115 384 | 236 000 | 0,489 | 581 | 0,504 |
| Україна | 4 945 | 19 800 | 0,250 | 84 | 1,699 |

За даними Британського відомства з безпеки і стандартизації на залізницях (Rail Safety & Standards, RSSB), найпоширенішими причинами зіткнень різних видів транспорту є помилки водіїв автомобілів (63 %), порушення водіями правил – об'їзд закритих шлагбаумів (21 %) [20]. Інші 16 % розподіляються таким чином: поломки і відмови автомобілів (5 %), погодні умови (4 %), помилки машиніста потяга (3 %), помилки персоналу, що обслуговує переїзд (3 %), і відмови пристроїв сигналізації переїзду (1 %).

На залізницях України сьогодні експлуатують 4 945 залізничних переїздів, із яких 2 343 – з автобусним рухом; 1 290 – із черговим працівником; 1 262 – обладнані пристроями автоматики, у тому числі 383 переїзди обладнані чотирма шлагбаумами, які забезпечують разом з основними шлагбаумами повне перекриття проїзної частини автодороги [5].

Цікавими для аналізу можуть бути дані щодо кількості переїздів на 1 км розгорнутої довжини колії в регіональних філіях Укрзалізниці (рис. 1).

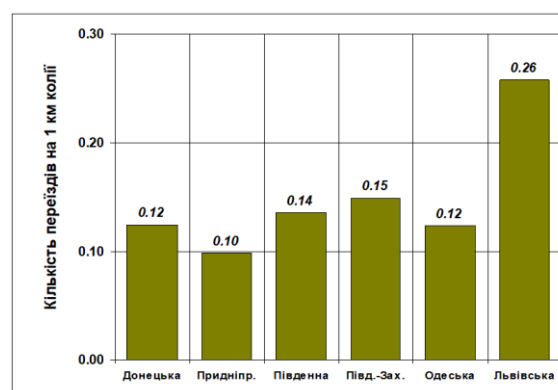


Рис. 1. Кількість переїздів на 1 км залізничної колії

Fig. 1. Number of crossings per 1 km of railway track

Із рис. 1 бачимо, що найбільша кількість переїздів на мережі регіональної філії «Львівська залізниця», найменша кількість – на мережі Придніпровської залізниці.

Практично всі методи виявлення та оцінки небезпечних місць базуються на статистичних даних кількості ДТП. Основними методами, які використовують на практиці, є: метод оцінки за допомогою балів, метод конфліктних си-

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

туацій, метод коефіцієнтів пригод, метод коефіцієнтів аварійності, метод аналізу статистичних даних на основі теорії ймовірності [18].

Одним з найдавніших методів є комплексна оцінка за допомогою балів [1]. За цим методом умови безпеки оцінюються сумою балів, які враховують характеристики залізниці й автодороги в місці перетину, наявну інфраструктуру, ширину покриття та узбіч, радіуси кривих у плані, умови забезпечення видимості, рівність покриття, облаштування перетинів світлофорами тощо. Для кожного з цих елементів розроблено шкалу балів зі значеннями від 1 до 10. Причому значення бала 10 відповідає сприятливим умовам руху.

Однак комплексна оцінка доріг за допомогою балів, які не завжди пов'язані один з одним та з вимогами до дороги, є умовною. Також неправильно їх об'єднувати в одному показнику, оскільки вони можуть суперечити один одному. Так, наприклад, підвищена міцність дорожнього покриття не може компенсувати наявності на дорозі небезпечних місць з умов видимості в плані.

Практика показує, що поліпшення комфортності руху шляхом улаштування удосконаленого покриття на дорозі з несприятливими елементами плану траси або поздовжнього профілю, як правило, спричиняє збільшення кількості ДТП. Отже, оцінка дороги для умов безпеки руху за допомогою балів є коректною тільки щодо порівняння окремих, близьких за параметрами ділянок. Тому використання цього методу зараз обмежене [18].

За досить детальної обробки важливих технічних питань (розміщення переїздів, їх облаштування технічними пристроями, забезпечення безпеки руху на переїзді засобами сигналізації тощо) більшість економічних аспектів проблеми залишаються недостатньо вивченими.

Автори розкривають різні аспекти влаштування й роботи залізничного переїзду, але при цьому все одно залишають невирішеними багато питань і дискусій щодо однорівневих перетинів.

Окремі питання в цій сфері потребують подальшого обговорення та вдосконалення, а саме:

– система оцінки рівня безпеки на залізничних переїздах;

– створення в АТ «Укрзалізниця» автоматизованої інформаційної підсистеми «АІС Переїзд»;

– заміна небезпечних переїздів шляхопроводами.

Результати

Доцільно впровадити систему оцінки рівня безпеки на залізничних переїздах, яка на сьогоднішній час, відсутня в нормативних документах для залізничного транспорту України і яка необхідна для виявлення небезпечних ділянок і розробки заходів щодо поліпшення умов руху на них.

На магістральному залізничному транспорті України практично всі методи виявлення та оцінки небезпечних місць базуються на статистичних даних щодо кількості ДТП. Укравтодор запропонував чинну до сьогодні Методику оцінки рівнів безпеки руху на автомобільних дорогах України М 218–03450778–652:2008 [6], згідно з якою оцінювання рівнів аварійності проводять за такими показниками: коефіцієнт пригод; коефіцієнт головних статистик розподілу аварійності на ділянках доріг загального користування та частки ДТП, що сталися за умов незадовільного утримання доріг; підсумковий коефіцієнт аварійності.

Для оцінки безпеки руху залізничного транспорту та автотранспортних засобів у зоні залізничних переїздів найдоцільніше використовувати метод підсумкового коефіцієнта аварійності, який проведено модернізацію чи нові проектні рішення, тобто оцінює безпеку руху в умовах відсутності даних про ДТП. Його величину K_a для залізничного переїзду визначають шляхом перемноження семи коефіцієнтів аварійності:

$$K_a = \prod_{i=1}^7 K_i = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7, \quad (1)$$

де K_1 – коефіцієнт, який враховує добову інтенсивність руху поїздів через переїзд (1,0...8,0); K_2 – коефіцієнт, який враховує добову інтенсивність руху на автомобільній дорозі (0,42...2,05); K_3 – коефіцієнт, який враховує відстань видимості поїзда (із черговим 3,2...0,9); K_4 – коефіцієнт, який враховує устаткування переїзду (із черговим 1,6...9,1); K_5 –

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

коефіцієнт, який враховує штучне освітлення переїзду (1,0...1,5); K_6 – коефіцієнт, який враховує радіус кривої у плані на підходах до переїзду (8,9...1,0); K_7 – коефіцієнт, який враховує поздовжній ухил автомобільної дороги на підходах до переїзду (1,0...3,64).

Значення коефіцієнта K_1 визначають за формулою:

$$K_1 = \frac{N_t}{3 + 0,1 \cdot N_t}, \quad (2)$$

де N_t – інтенсивність руху поїздів через переїзд (поїздів/добу).

На жаль, інші коефіцієнти $K_2 \dots K_7$ задано в [6] детерміновано для певного інтервалу, вони мають стрибкоподібний характер. Це впливає на остаточний результат і може привести до різних висновків. Розглянемо конкретний приклад (табл. 3).

Таблиця 3

Вихідні й розрахункові дані

Table 3

Initial and calculation data

| Показник | Значення показника | | Значення коефіцієнта | |
|---|--------------------------------------|--------------------------------------|----------------------|------------|
| | варіант 1 | варіант 2 | варіант 1 | варіант 2 |
| Інтенсивність руху поїздів через переїзд, поїздів/добу | 30 | 30 | $K_1=5,0$ | $K_1=5,0$ |
| Інтенсивність руху по автодорозі, авт./добу | 1 000 | 1 001 | $K_2=0,55$ | $K_2=0,80$ |
| Відстань видимості переїзду та поїзда, м | 100 | 101 | $K_3=2,8$ | $K_3=2,0$ |
| Обладнання переїзду | автоматична світлофорна сигналізація | автоматична світлофорна сигналізація | $K_4=2,2$ | $K_4=2,2$ |
| Штучне освітлення переїзду з черговим | наявне | наявне | $K_5=1,0$ | $K_5=1,0$ |
| Радіус кривої в плані на підходах до переїзду, м | 200 | 201 | $K_6=1,45$ | $K_6=1,0$ |
| Поздовжній ухил автомобільної дороги на підходах до переїзду, % | 50 | 50 | $K_7=2,72$ | $K_7=2,42$ |
| Підсумковий коефіцієнт аварійності* | небезпечний | малонебезпечний | $K_a=66,8$ | $K_a=47,9$ |

*За величиною підсумкового коефіцієнта аварійності K_a оцінюють стан руху на залізничному переїзді: до 40 – безпечний; 41...60 – малонебезпечний; 61...80 – небезпечний; більше 81 – дуже небезпечний

За вихідними даними (табл. 3) й формулами, наведеними в Методиці оцінки рівнів безпеки руху на автомобільних дорогах України М 218–03450778–652:2008 [6], підсумковий коефіцієнт аварійності K_a дорівнює 66,8 (варіант 1) і 47,9 (варіант 2), тобто в першому випадку переїзд

належить до класу небезпечних, у другому – до класу малонебезпечних.

Відповідно до результатів обчислених значень коефіцієнта аварійності та показника безпеки можна рекомендувати такі заходи щодо підвищення безпеки руху на залізничних переїздах:

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

– для малонебезпечних – забезпечення видимості на переїзді, нанесення ліній розмітки, установлення автоматичної світлофорної сигналізації, збільшення радіуса кривої в плані на автомобільній дорозі, влаштування шорсткої поверхневої обробки на ділянках спусків з ухилом більше 30 %;

– для небезпечних – установлення автоматичних шлагбаумів із сигналізацією, які забезпечують разом з основними шлагбаумами повне перекриття проїзду частини автодороги, нанесення ліній розмітки, збільшення радіуса кривої в плані для автомобільних доріг, влаштування шорсткої поверхневої обробки на ділянках спусків з ухилом більше 30 %, обмеження швидкості руху на підходах до переїзду.

Слід відзначити, що аналогічний підхід застосовують на залізницях інших країн. Так, наприклад, за результатами проведеної оцінки ризику на 337 залізничних переїздах Литовської залізниці виявлено, що 22 залізничні переїзди мають критичне значення ризику, і рекомендовано терміново встановити технічні засоби для підвищення їх безпеки [10]. Для оцінки безпеки залізничних переїздів використано модель логістичної регресії, а критерії оцінки $K_1 - K_7$ визначено аналітично.

Усунути вищевказані недоліки методу підсумкового коефіцієнта можна шляхом використання формул і графіків, наведених на рис. 2–5.

Для оцінки стану безпеки на переїздах АТ «Укрзалізниця» розроблено до автоматизованої системи обліку транспортних подій на залізничному транспорті «АРМ ЦРБ» автоматизовану підсистему про залізничні переїзди «АІС Переїзд».

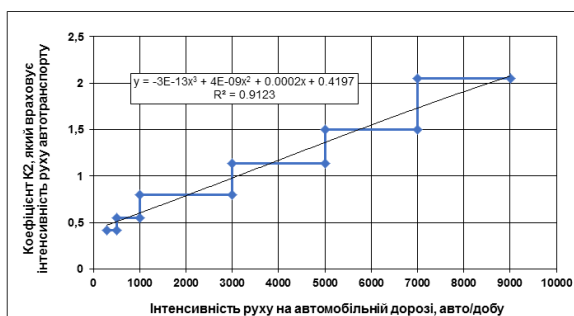


Рис. 2. Коефіцієнт K_2 , який враховує добову інтенсивність руху на автомобільній дорозі

Fig. 2. Coefficient K_2 , which takes into account the daily traffic intensity on the highway

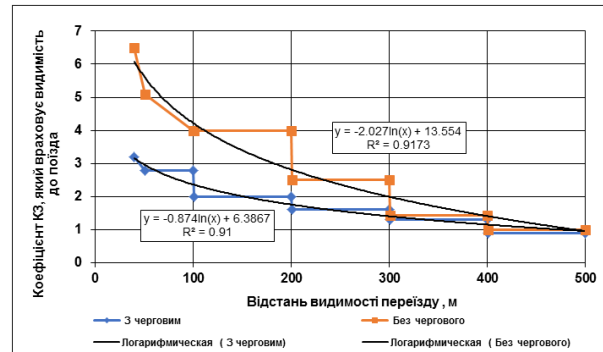


Рис. 3. Коефіцієнт K_3 , який враховує відстань видимості поїзда

Fig. 3. Coefficient K_3 , which takes into account the visibility distance of the train

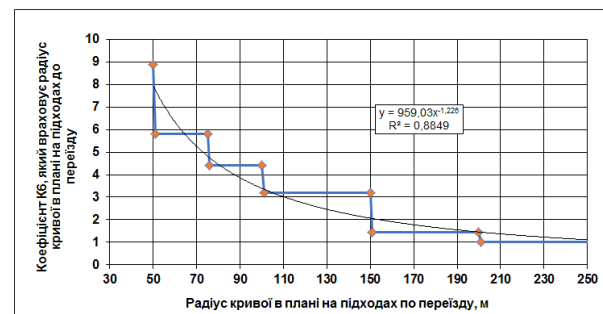


Рис. 4. Коефіцієнт K_6 , який враховує радіус кривої у плані на підходах до переїзду

Fig. 4. Coefficient K_6 , which takes into account the curve radius in the plan on the approaches to the crossing

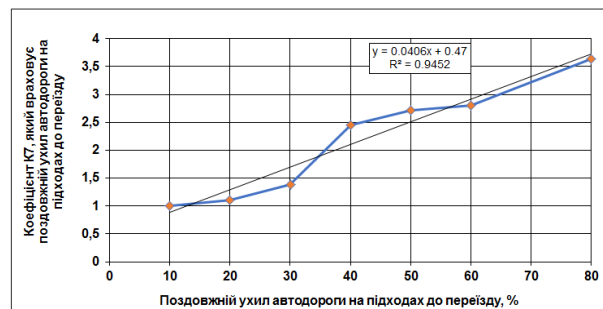


Рис. 5. Коефіцієнт K_7 , який враховує поздовжній ухил автомобільної дороги на підходах до переїзду

Fig. 5. Coefficient K_7 , which takes into account the longitudinal slope of the highway on the approaches to the crossing

Характеристика переїзду містить таку інформацію: категорія переїзду (регульований чи нерегульований), наявність охорони, дані про

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

максимальну швидкість руху пасажирських і вантажних поїздів, кількість залізничних колій, добова кількість поїздів, тип автодороги й інтенсивність руху автотранспорту, що перетинає переїзд, наявність автобусного руху. У паспорті переїзду наводять дані про видимість дороги для машиніста з непарної й парної сторони, видимість для водія колії з двох (протилежних) сторін. Крім того, вказують кут перетину автодороги з залізницею, ухил підходів (непарна й парна сторона), ширину проїзної частини, вид покриття настилу переїзду, вид покриття підходів у зоні й поза зоною обслуговування залізниці, тип сигналізації, наявність місячно-білих миготливих вогнів, термін сповіщення, тип основних і додаткових шлагбаумів, наявність загороджувально-бар'єрного пристрою (ЗБП), наявність зовнішнього освітлення переїзду й відеонагляду.

Наводять також характеристику колії в межах переїзду, рік капітального ремонту переїзду, поздовжній профіль і план (пряма чи крива, радіус кривої, підвищення зовнішньої рейки, поздовжній профіль автодороги, план-схема переїзду).

Наукова новизна та практична значимість

У роботі набули подальшого розвитку наукові підходи до оцінки безпеки руху транспортних засобів на перетині автомобільної дороги й залізниці в одному рівні з обчисленням коефіцієнтів аварійності та показників небезпеки на основі даних підсистеми «АІС Переїзд», яку впроваджують на залізницях України. Отримані результати будуть корисні для проведення заходів із підвищення безпеки руху транспорту

через залізничні переїзди, особливо на напрямках упровадження швидкісного руху поїздів. Застосування автоматизованої інформаційної підсистеми «АІС Переїзд» дозволить без додаткових трудових витрат використовувати метод підсумкового коефіцієнта аварійності й оцінювати безпеку руху залізничного й автотранспорту в зоні залізничних переїздів.

Висновки

1. Оцінювати безпеку руху залізничного й автотранспорту в зоні залізничних переїздів доцільно за допомогою методу підсумкового коефіцієнта аварійності. Він дає змогу врахувати проведену модернізацію та нові проєктні рішення в умовах відсутності даних про ДТП.

2. У методі підсумкового коефіцієнта аварійності коефіцієнти $K_2 \dots K_7$ задають детерміновано для певного інтервалу, вони мають стрибкоподібний характер. Це впливає на остаточний результат і призводить до різних заходів із підвищення безпеки руху на залізничних переїздах.

3. Залежно від результатів обчислених значень коефіцієнта аварійності можуть бути впроваджені різні заходи з підвищення безпеки руху на залізничних переїздах відповідно до класифікації: безпечний, малонебезпечний, небезпечний, дуже небезпечний

4. Упровадження автоматизованої інформаційної підсистеми «АІС Переїзд» на залізницях сприятиме оцінюванню безпеки руху залізничного й автотранспорту в зоні залізничних переїздів за допомогою методу підсумкового коефіцієнта аварійності без додаткових трудових витрат.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абрамова Л. С., Ширин В. В., Птица Г. Г. Анализ методов определения показателей безопасности дорожного движения. *Вестник ХНАДУ*. 2015. № 69. С. 118–123.
2. *Інтегрований звіт АТ «Укрзалізниця» / Департамент сталого розвитку та внутрішніх комунікацій*. Київ, 2020. 308 с.
3. Курган М. Б., Лужицький О. Ф., Гаврилов М. О. Шляхи зниження аварійності на залізничних переїздах. *Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті*. 2014. № 7. С. 53–62. DOI: <https://doi.org/10.15802/ecsrt2014/51379>
4. Лужицький О. Ф. Забезпечення безпеки руху на залізничних переїздах. *Українські залізниці*. 2016. № 7 (37). С. 52–56.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

5. Курган М. Б., Курган Д. М., Лужицький О. Ф. Дослідження нерівностей колії в межах залізничних перейздів. *Наука та прогрес транспорту*. 2015. № 5 (59). С. 84–96.
DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2015/55341>
6. *Методика оцінки рівнів безпеки руху на автомобільних дорогах України : М 218-03450778-652:2008*. [Чинна від 2008-01-01]. Київ : Державна служба автомобільних доріг України (Укравтодор), 2008. 49 с.
7. *Україна у цифрах у 2021 році* / відповідальний за випуск О. А. Вишнеvsька. Київ, 2021. 46 с.
8. Assessment of safety at level crossings in UNECE member countries and other selected countries and strategic framework for improving safety at level crossings. *Informal document SC.2*. 2016. No. 5. P. 1–50.
9. Blagojević A., Kasalica S., Tričković G., Pavelkić V. Evaluation of Safety Degree at Railway Crossings in Order to Achieve Sustainable Traffic Management : A Novel Integrated Fuzzy MCDM Model. *Sustainability*. 2021. Vol. 13. Iss. 2. P. 1–20. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13020832>
10. Bureika G., Komaisko M., Jastremskas V. Modelling the ranking of Lithuanian railways level crossing by safety evel. *Transport problems*. 2017. Vol. 12. P. 11–22. DOI: <https://doi.org/10.20858/tp.2017.12.se.1>
11. Dezhkam B., Eslami M. A review of methods for highway-railway crossings safety management process. *International electronic journal of mathematics education*. 2017. Vol. 12. Iss. 3. P. 561–568.
DOI: <https://doi.org/10.29333/iejme/632>
12. Djordjević B., Krmac E., Mlinarić T. J. Non-radial DEA model : A new approach to evaluation of safety at railway level crossings. *Safety Science*. 2018. Vol. 103. P. 234–246. DOI: <https://10.1016/j.ssci.2017.12.001>
13. ERAIL. *Safety Indicators*. European Railway Agency. URL: <http://erail.era.europa.eu>
14. European Railway Agency. *European Railway Agency*. URL: <http://www.era.europa.eu>
15. *Federal Railroad Administration. United States Department of Transportation*. URL: <http://www.fra.dot.gov>
16. Final Report Rail inquiry RO-2019-108. *Transport Accident Investigation Commission*. URL: <https://www.taic.org.nz/inquiry/ro-2019-108>
17. Gill A., Smoczyński P. Layered model for convenient designing of safety system upgrades in railways. *Safety Science*. 2018. Vol. 110. P. 168–176. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.11.024>
18. Havryliuk V. I., Voznyak O. M., Meleshko V. V. Improving the positioning accuracy of train on the approach section to the railway crossing. *Science and Transport Progress*. 2016. № 1 (61). P. 9–18.
DOI: <https://10.15802/stp2016/60936>
19. Krmac E., Djordjević B. Evaluation of the levels of safety at railway level crossings using data envelopment analysis (DEA) method : A case study on Slovenian railways. *European Transport – Trasporti Europei*. 2018. Iss. 67. P. 1–9.
20. Knution M. Reducing the risk of accidents at level crossings. *Railways of the world*. 2004. № 9. P. 62–64.
21. Level Crossing Risk Assessment Guidance. *KiwiRail*. 2021. P. 1–78. URL: <https://www.kiwirail.co.nz/assets/Uploads/documents/Level-Crossing-Risk-Assessment-Guide-2021.pdf>
22. Nkuzimana L., Minja G., Wilfred C. M., Didai M. Automatic Railway Road Crossing (RLC) Traffic Light System for Metric Gauge Railway Network in Tanzania. *International Journal of Scientific Research in Computer Science Engineering and Information Technology*. 2021. Vol. 7. Iss. 11. P. 1–9.
DOI: <https://doi.org/10.31695/ijasre.2021.34099>
23. *Federal Railroad Administration*. URL: <http://safetydata.fra.dot.gov/officeofsafety/>
24. Principles for managing level crossing safety. *Office of Rail and Road*. 2021. P. 1–31.
https://www.orr.gov.uk/sites/default/files/2021-06/principles-for-managing-level-crossing-safety-june-2021_0.pdf
25. Read G. J. M., Cox J. A., Hulme A., Naweed A., Salmon P. M. What factors influence risk at rail level crossings? A systematic review and synthesis of findings using systems thinking. *Safety Science*. 2021. Vol. 138. P. 1–13. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105207>
26. Sekasi J., Solihu H. Safety and risk analysis at railway crossings of north-south Addis Ababa light rail. *Smart and Resilient Transportation*. 2021. Vol. 3. Iss. 3. P. 266–282.
DOI: <https://doi.org/10.1108/SRT-08-2021-0007>
27. Summary of the work of the Economic and Social Commission for Asia and the Pacific, 2018–2019. *Economic and Social Council*. 2019. P. 1–19. URL: <https://digitallibrary.un.org/record/3807384?ln=ar>
28. The Australian Level Crossing Assessment. Model ALCAM in Detail. *An Introduction to the new ALCAM models (2014)*. 2016. P. 1–31. URL: <https://alcam.com.au/media/1013/alcam-in-detail-update-august-2016.pdf>
29. Turner S., Cook E., Boshier S. Level Crossing Safety Impact Assessments for Vehicle and Pedestrian Crossings. *Transportation Research Record*. 2021. Vol. 2675. Iss. 9. P. 1482–1492.
DOI: <https://doi.org/10.1177/03611981211007857>

30. Yang X., Li J. Q., Wang K. C. P., Hatt J., Schwennesen J. Selection of at-grade highway-rail crossings for grade separation. *International Journal of Rail Transportation*. 2022. P. 1–21.
DOI: <https://10.1080/23248378.2022.2060359>

M. B. KURHAN^{1*}, D. M. KURHAN², M. A. HUSAK³, M. O. HAVRYLOV⁴,
O. F. LUZHITSKIY⁵

^{1*}Dep. «Transport Infrastructure», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 48, e-mail kunibor@gmail.com, ORCID 0000-0002-8182-7709

²Dep. «Transport Infrastructure», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 42, e-mail kurhan.d@gmail.com, ORCID 0000-0002-9448-5269

³Dep. «Transport Infrastructure», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 48, e-mail marka2410@gmail.com, ORCID 0000-0001-8187-7792

⁴Dep. «Transport Infrastructure», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 48, e-mail maxgavrilla@gmail.com, ORCID 0000-0002-1321-170X

⁵Dep. «Transport Infrastructure», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 48, e-mail oleg.luzhickii@gmail.com, ORCID 0000-0001-6519-7447

Vehicle Traffic Safety Assessment at the Intersection of Highways and Railways at the Same Level

Purpose. The purpose of the study is to assess the state of vehicle traffic safety at the intersection of highways and railways at the same level, as well as the subsequent development of measures to improve road traffic safety at railroad crossings. Assessing the degree of road traffic safety at railway crossings is one of the main tasks of both the road operation service and railway transport services. Therefore, it is advisable to implement a system for assessing the level of safety at railroad crossings, which is necessary to identify dangerous areas and develop measures to improve traffic conditions on them. **Methodology.** In order to obtain initial data and methods of assessing the state of vehicle traffic safety at the intersection of highways and railways at the same level, the authors conducted a review of the world literature on the topic of the study, as well as monitoring the safety of vehicle traffic at the intersection of highways with railway tracks. On the basis of the various methodological approaches analysis, the method of the final accident rate was used, which makes it possible to assess the state of safety as a result of the modernization or new design decisions, that is, in the absence of data on road accidents. **Findings.** It was found that according to the final coefficient of railway accident rate, crossings can be classified into one of four classes: safe, low-risk, dangerous, very dangerous. The issue of reducing the risk of an accident at the interaction of railway and road transport has been studied. **Originality.** Scientific approaches to evaluating the safety of vehicle movement at the intersection of highways and railways have gained further development, at the same level as the calculation of accident coefficients and danger indicators based on the data of the AIS Pereizd subsystem, which is being implemented on the railways of Ukraine. **Practical value.** The obtained results will be useful for carrying out measures to increase the safety of traffic through railway crossings, especially in the directions of the introduction of high-speed train traffic. The use of the AIS Pereizd automated information subsystem will allow using the method of the final accident rate and evaluating the safety of rail transport and motor vehicles in the area of railway crossings without additional labor costs.

Keywords: level crossing; traffic safety; traffic accident; AIS Pereizd automated information subsystem; the method of the final accident rate

REFERENCES

1. Abramova, L. S. Shirin, V. V., & Ptitsa, G. G. (2015). Analysis of methods for determining road safety indicators. *Bulletin of KhNADU*, 69, 118-123. (in Russian)
2. *Intehrovanyi zvit AT «Ukrzaliznytsia» / Departament staloho rozvytku ta vnutrishnikh komunikatsii.* (2020). Kyiv. (in Ukraine)
3. Kurhan, M. B., Luzhitskij, O. F., & Gavrilov, M. O. (2014). Ways to reduce accidents at railway crossings. *Electromagnetic compatibility and safety in railway transport*, 7, 53-62.
DOI: <https://doi.org/10.15802/ecsrt2014/51379> (in Ukraine)

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

4. Luzhytskyi, O. F. (2016). Zabezpechennja bezpeky rukhu na zaliznychnykh perejizdakh. *Ukrajinsjka zaliznycja*, 7(37), 52-56. (in Ukrainian)
5. Kurgan, M. B., Kurgan, D. M., & Luzhytskyi, O. F. (2015). Inequalities research of the track at the railroad crossings. *Science and Transport Progress*, 5(59), 84-96. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2015/55341> (in Ukraine)
6. *Metodyka otsinky rivniv bezpeky rukhu na avtomobilnykh dorohakh Ukrainy: M 218-03450778-652:2008*. (2008). Kyiv, DerzhdorNDI. (in Ukraine)
7. Vyshnevskaja, O. A. (Ed.). (2021). *Ukraina u tsyfrakh u 2021 rotsi. Statistical collection. State Statistics Service*. Kyiv. (in Ukraine)
8. Assessment of safety at level crossings in UNECE member countries and other selected countries and strategic framework for improving safety at level crossings. (2016). *Informal document SC.2*, 5, 1-50. (in English)
9. Blagojević, A., Kasalica, S., Tričković, G., & Pavelkić, V. (2021). Evaluation of Safety Degree at Railway Crossings in Order to Achieve Sustainable Traffic Management: A Novel Integrated Fuzzy MCDM Model. *Sustainability*, 13(2), 1-20. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13020832> (in English)
10. Bureika, G., Komaisko, M., & Jastremskas, V. (2017). Modelling the ranking of Lithuanian railways level crossing by safety level. *Transport problems*, 12, 11-22. DOI: <https://doi.org/10.20858/tp.2017.12.se.1> (in English)
11. Dezhkam, B., & Eslami, M. (2017). A review of methods for highway-railway crossings safety management process. *International electronic journal of mathematics education*, 12(3), 561-568. DOI: <https://doi.org/10.29333/iejme/632> (in English)
12. Djordjević, B., Krmac, E., & Mlinarić, T. J. (2018). Non-radial DEA model: A new approach to evaluation of safety at railway level crossings. *Safety Science*, 103, 234-246. DOI: <https://10.1016/j.ssci.2017.12.001> (in English)
13. ERAIL. (n. d.). *Safety Indicators. European Railway Agency*. Retrieved from <http://erail.era.europa.eu> (in English)
14. European Railway Agency. (n. d.). *European Railway Agency*. Retrieved from <http://www.era.europa.eu> (in English)
15. *Federal Railroad Administration*. (n. d.). *United States Department of Transportation*. Retrieved from <http://www.fra.dot.gov> (in English)
16. Final Report Rail inquiry RO-2019-108. (n. d.). *Transport Accident Investigation Commission*. Retrieved from <https://www.taic.org.nz/inquiry/ro-2019-108> (in English)
17. Gill, A., & Smoczyński, P. (2018). Layered model for convenient designing of safety system upgrades in railways. *Safety Science*, 110, 168-176. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.11.024> (in English)
18. Havryliuk, V. I., Voznyak, O. M., & Meleshko, V. V. (2016). Improving the positioning accuracy of train on the approach section to the railway crossing. *Science and Transport Progress*, 1(61), 9-18. DOI: <https://10.15802/stp2016/60936> (in English)
19. Krmac, E., & Djordjević, B. (2018). Evaluation of the levels of safety at railway level crossings using data envelopment analysis (DEA) method: A case study on Slovenian railways. *European Transport-Transporti Europei*, 67, 1-9. (in English)
20. Knution, M. (2004). Reducing the risk of accidents at level crossings. *Railways of the world*, 9, 62-64. (in English)
21. Level Crossing Risk Assessment Guidance. (2021). *KiwiRail*, 4, 1-78. Retrieved from <https://www.kiwirail.co.nz/assets/Uploads/documents/Level-Crossing-Risk-Assessment-Guide-2021.pdf> (in English)
22. Nkuzimana, L., Minja, G., Wilfred, C. M., & Didai, M. (2021). Automatic Railway Road Crossing (RLC) Traffic Light System for Metric Gauge Railway Network in Tanzania. *International Journal of Scientific Research in Computer Science Engineering and Information Technology*, 7(11), 1-9. DOI: <https://doi.org/10.31695/ijasre.2021.34099> (in English)
23. *Federal Railroad Administration*. (n. d.). Retrieved from <http://safetydata.fra.dot.gov/officeofsafety/> (in English)
24. Principles for managing level crossing safety. (2021). *Office of Rail and Road*, 1-31. Retrieved from https://www.orr.gov.uk/sites/default/files/2021-06/principles-for-managing-level-crossing-safety-june-2021_0.pdf (in English)
25. Read, G. J. M., Cox, J. A., Hulme, A., Naweed, A., & Salmon, P. M. (2021). What factors influence risk at rail level crossings? A systematic review and synthesis of findings using systems thinking. *Safety Science*, 138, 1-13. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105207> (in English)

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

26. Sekasi, J., & Solihu, H. (2021). Safety and risk analysis at railway crossings of north-south Addis Ababa light rail. *Smart and Resilient Transportation*, 3(3), 266-282. DOI: <https://doi.org/10.1108/SRT-08-2021-0007> (in English)
27. Summary of the work of the Economic and Social Commission for Asia and the Pacific, 2018–2019. (2019). *Economic and Social Council*, 1-19. (in English)
28. The Australian Level Crossing Assessment. Model ALCAM in Detail. (2016). *An Introduction to the new ALCAM models (2014)*, 1-31. Retrieved from <https://alcam.com.au/media/1013/alcam-in-detail-update-august-2016.pdf> (in English)
29. Turner, S., Cook, E., & Boshier, S. (2021). Level Crossing Safety Impact Assessments for Vehicle and Pedestrian Crossings. *Transportation Research Record*, 2675(9), 1482-1492. DOI: <https://doi.org/10.1177/03611981211007857> (in English)
30. Yang, X., Li, J. Q., Wang, K. C. P., Hatt, J., & Schwennesen, J. (2022). Selection of at-grade highway-rail crossings for grade separation. *International Journal of Rail Transportation*, 1-21. DOI: <https://10.1080/23248378.2022.2060359> (in English)

Надійшла до редколегії: 21.02.2022

Прийнята до друку: 17.06.2022