

## ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

УДК 656.216.2.027:656.25-048.35

М. Б. КУРГАН<sup>1</sup>, О. Ф. ЛУЖИЦЬКИЙ<sup>2</sup>, Р. В. ІВАНОВ<sup>3</sup>, Н. П. ХМЕЛЕВСЬКА<sup>4</sup>,  
В. С. ХМЕЛЕВСЬКИЙ<sup>5</sup>

<sup>1</sup>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

<sup>2</sup>Каф. «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

<sup>3</sup>Каф. «Транспортна інфраструктура», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 48, ел. пошта ivanovrodion@ukr.net, ORCID 0009-0005-9125-9468

<sup>4</sup>Каф. «Транспортна інфраструктура», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 48, ел. пошта hmelevnela@gmail.com, ORCID 0000-0002-2360-8671

<sup>5</sup>Каф. «Транспортна інфраструктура», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 48, ел. пошта Junkpff@gmail.com, ORCID 0009-0000-3221-6955

### Упровадження інноваційних технологій під час модернізації наявних переїздів для організації швидкісного руху поїздів

**Мета.** Основна мета роботи – огляд інноваційних технологій для підвищення безпеки на перетині залізничних колій з автомобільними дорогами. Об'єктом дослідження є процеси функціонування – залізничних переїздів за різної інтенсивності і параметрів руху транспорту, що вимагають вирішення досить широкого кола завдань теоретичного, практичного й організаційного плану. **Методика.** Дослідження ґрунтується на теорії математичного моделювання та чисельних методах розрахунків на ЕОМ. Предметом дослідження є показники, що дозволяють оцінити стан безпеки після проведеної модернізації чи нових проєктних рішень. **Результати.** Запропоновано модель удосконаленого методу підсумкового коефіцієнта, що дозволяє прогнозувати зміни у вихідних даних та отримувати різні значення підсумкового коефіцієнта, а отже, планувати заходи з упровадження інноваційних технологій, що підвищують безпеку руху на переїздах. Закриття залізничних переїздів або перехід на дворівневий перетин залізниці й автодороги (шляхопроводи) – це єдиний спосіб повністю усунути ризик. Однак практично неможливо негайно закрити всі залізничні переїзди. Крім фінансових та практичних обмежень, зручність користувача все ще має бути ключовим фактором. Використовуючи методи ієрархій, мозкового штурму та інші, можна визначати надійний набір показників для оцінки й забезпечення загальної безпеки пасажирів і транспорту, пов'язаних з усіма аспектами проєктування, будівництва, обслуговування та експлуатації залізничної мережі. Упровадження інноваційних технологій під час модернізації наявних переїздів є важливим кроком на шляху до організації швидкісного руху поїздів. Ці технології дозволять підвищити рівень безпеки руху на залізничних переїздах і захистити життя людей. **Наукова новизна.** Вирішено науково-прикладну задачу щодо впровадження інноваційних технологій під час модернізації наявних переїздів для організації швидкісного руху поїздів. **Практична значимість.** Реалізація обґрунтованої технології модернізації наявних переїздів забезпечить значне підвищення безпеки руху транспорту і пропускну здатність.

*Ключові слова:* залізничний переїзд; інтенсивність руху транспорту; життєвий цикл; зносостійкість; кліматичні умови; безпека дорожнього руху

## Вступ

Актуальність дослідження впливає з Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року. Загальна мета Стратегії полягає у визначенні концептуальних засад формування та реалізації державної політики в галузі транспорту, спрямованих на створення інтегрованого до світової транспортної мережі ефективного транспортного комплексу України. Для досягнення цієї мети будуть реалізовані стратегічні цілі за окресленими пріоритетними напрямами, одним із яких є: підвищення рівня безпеки на транспорті [9].

Безпека на залізниці є надзвичайно складною та багатогранною концепцією. Це один із найважливіших критеріїв стійкої роботи залізничної як складної транспортної системи.

Загальні проблеми, що потребують розв'язання, – це недосконалість систем управління безпекою на транспорті; відсутність систем моніторингу дорожньо-транспортних пригод, їх статистики та управління ризиками; високий рівень смертності і травматизму в результаті дорожньо-транспортних пригод.

На залізничних переїздах частими є порушення безперервності руху автомобільного транспорту, а в деяких випадках і залізничного транспорту, що призводить до збільшення споживання енергії, більшого забруднення навколишнього середовища, втрати часу пасажирів і персоналу, зменшення пропускної спроможності. До негативних наслідків також належать витрати на утримання залізничного переїзду, а також витрати, пов'язані з окремими інвестиційними проектами. Зрозуміло, що існує багато проблем, пов'язаних із залізничними переїздами, але головною проблемою є стале управління безпекою руху [9].

Щороку понад 330 людей гинуть у понад 1 200 ДТП на залізничних переїздах у Європейському Союзі. Переїзди були визначені як слабка місце дорожньої інфраструктури, яке серйозно впливає на безпеку дорожнього руху. У випадку залізничного транспорту аварії на залізничних переїздах спричиняють до 50 % усіх смертельних випадків. Щоб мінімізувати поточну статистику аварій, Європейська комісія реалізувала проєкт SELCAT (Safer European

Level Crossing Appraisal and Technology). Ключовим партнером проєкту був Технічний університет Брауншвейга (Німеччина). Іншими партнерами були Міжнародний союз залізниць (UIC), Французький національний інститут дорожньої безпеки (INRETS) та Британська асоціація залізничного транспорту (RSSB) [21]. SELCAT мав намір забезпечити базу знань для підвищення безпеки залізничних переїздів шляхом проведення аналізу результатів проєктів, пов'язаних із безпекою, із реалізацією від п'ятої та шостої рамкових програм досліджень FP5 та FP6 Європейського Союзу. Ці програми фінансують дослідження і розробки у різних галузях, включаючи залізничний та автомобільний транспорт. Ось деякі з ключових результатів проєкту SELCAT: розроблено єдиний підхід до класифікації аварій на залізничних переїздах: оцінено ефективність різних типів залізничних переїздів; виявлено, що автоматичні залізничні переїзди є найбільш ефективними у зниженні кількості аварій; розроблено рекомендації щодо впровадження систем автоматичного контролю за станом переїздів, які допоможуть залізничним операторам та органам влади підвищити рівень безпеки залізничних переїздів.

Результати проєкту SELCAT показали, що автоматичні залізничні переїзди можуть знизити кількість аварій на 70–80 %. Це робить їх одним із найефективніших заходів безпеки, які можна впровадити для зниження ризику аварій на залізничних переїздах.

Перший проєкт SELCAT Європейська комісія реалізувала в рамках шостої рамкової програми досліджень і розробок із 2006 по 2008 рік. Він був спрямований на оцінку ефективності наявних заходів безпеки на залізничних переїздах та розробку рекомендацій щодо впровадження нових заходів безпеки.

Другий проєкт SELCAT Європейське агентство реалізувало з безпеки залізничного транспорту (ERA) в рамках своєї програми досліджень і розробок в період із 2017 по 2022 рік. Він був спрямований на оцінку передових технологій підвищення безпеки руху на залізничних переїздах у Європі [10].

Україна є однією з країн, які беруть участь у проєкті SELCAT. У рамках проєкту в Україні

## ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

було проведено оцінку ефективності передових технологій підвищення безпеки руху на залізничних переїздах. Результати оцінки показали, що сучасні технології можуть значно підвищити безпеку руху на залізничних переїздах в Україні.

Порівнюючи середні дані ДТП на залізницях Європи й України за останні 5 років, доходимо висновку, що кількість ДТП на 1000 км залізничної колії, кількість загиблих і постраждалих у ДТП на 1 000 км залізничної колії вдвічі вища в Україні.

Є кілька факторів, які можуть пояснити ці відмінності. Одним із факторів є різниця в ширині колії, що ускладнює переміщення вантажів між Україною та Європою та може призвести до збільшення кількості ДТП. Іншим фактором є різниця в законодавстві та нормативній базі. У Європі існують суворіші правила безпеки на залізницях, ніж в Україні. Наприклад, у Європі заборонено проїзд по залізничних переїздах, якщо шлагбауми закриті або світлофори показують заборонний сигнал. В Україні такі правила існують, але їх не завжди виконують.

«Вузькими місцями» на транспортних коридорах є велика кількість переїздів через залізниці, а також відсутність об'їзних доріг у деяких містах України. Тому залізничні переїзди на цьому етапі слід сприймати як необхідність та вживати всіх доступних заходів, щоб зменшити негативні наслідки.

В умовах подальшої інтенсифікації залізничного транспорту все більше уваги слід приділяти проблемі гарантування безпеки руху на залізничних переїздах, досягти якої можна в разі комплексного використання організаційних і технічних заходів, впровадження нового та модернізації наявного обладнання, будівництва шляхопроводів.

Роботи щодо впливу різних показників на характеристики переїздів продовжуються. Так, у роботі [12] 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.

Зазначимо, що переїзди категорії LC1–LC5 досі використовують у деяких країнах Європи, зокрема в Польщі, Чехії, Словаччині та Румунії. Ці категорії були введені в 1976 році в рамках Директиви Ради Європейських співтовариств 76/581/ЄЕС про встановлення єдиних технічних вимог до будівництва та експлуатаційних вимог до переїздів на залізницях. Директива 76/581/ЄЕС була замінена Директивою Ради Європейських співтовариств 2008/57/ЄС про вимоги до безпеки на залізничному транспорті. Ця директива також використовує категорії переїздів, але вони засновані на інтенсивності руху та інших факторах, які впливають на безпеку руху. Переїзди категорії LC6, LC7 і LC8 – це переїзди з високою інтенсивністю руху поїздів, автотранспорту та пішоходів, що розташовані в місцях з обмеженою видимістю.

Модернізація переїздів забезпечує поліпшення безпеки руху, збільшення вантаж- й пасажирообігу, зменшення часу очікування на переїздах для автомобільного руху, що полегшує транзитні перевезення, сумісність з європейськими стандартами. Зменшення кількості ДТП на залізничних переїздах може призвести до зниження викидів шкідливих речовин в атмосферу, до зменшення шумового забруднення та зменшення забруднення повітря від транспортних засобів. Упровадження передових технологій підвищення безпеки руху на залізничних переїздах є важливим кроком для підвищення безпеки залізничного транспорту в Європі та Україні. Запропоновані заходи щодо підвищення безпеки руху на залізничних переїздах України дозволять досягти комплексного ефекту та сприяти охороні навколишнього середовища [4, 6].

Як свідчить статистика, основна частина аварій, дорожньо-транспортних пригод (ДТП) та інцидентів відбувається на складних транспортних об'єктах, до числа яких належать залізничні переїзди. Сі Ланг та ін. [18] відзначають, що залізничні переїзди є однією з найважливіших проблем для сталого управління безпекою руху та дорожньо-транспортними пригодами,

## ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

що становлять третину всіх залізничних пригод у Європі. У роботі [12] представлено результати досліджень із підвищення безпеки на залізничних переїздах європейських країн. Показано, що технічні рішення мають обмежене застосування через фінансову неможливість заміни всіх переїздів естакадами або підземними переходами чи встановлення сучасного обладнання з метою попередження або виявлення небезпеки, коли до переїзду наближається поїзд. На залізничних переїздах трапляється порушення безперервності руху автотранспорту, а ряді випадків і залізничного транспорту, що призводить до підвищеного енергоспоживання, забруднення довкілля, втрат часу пасажирів та персоналу, збільшення часу залучення рухомих засобів, зниження пропускної спроможності.

Переїзди є пріоритетною темою для Управління залізниць і доріг (ORR) Великобританії. У роботі [20] відзначено, що на більш ніж 7 000 залізничних переїздів не існує універсального підходу до безпеки, кожен залізничний переїзд є унікальним.

Проблеми, пов'язані з наявністю залізничних переїздів, численні. З метою сталого управління безпекою руху вживають певних заходів для зведення цієї небезпеки до мінімуму. Найкращі рішення – перетин доріг через шляхопроводи та підземні переходи, але це вимагає дуже великих капіталовкладень.

Європейська комісія та Європейський інвестиційний банк розробили стратегію з інтеграції залізничних мереж України, Молдови та Євросоюзу [2]. Основний висновок проведеного дослідження полягає в необхідності побудови в Україні та Молдові нової магістральної мережі колії 1 435 мм, яка працюватиме паралельно з теперішньою мережею 1 520 мм на двох принципових засадах: євроколія 1 435 мм буде призначена для швидкісних перевезень (міжнародні пасажирські потяги, потяги категорії «Інтерсіті», перевезення вантажів у контейнерах/на платформах), тоді як колія 1 520 мм обслуговуватиме повільніший транспорт (місцеві та регіональні пасажирські потяги, великогазові вантажі); розвиток магістральної мережі 1 435 мм здійснюватиметься поетапно – із заходу на схід.

Для реалізації цього завдання можливі різні варіанти: будівництво європейської колії (ширина 1 435 мм) або перехід на суміщену колію (1 435\1 520 мм) з рейками європейського стандарту UIC60. Це, у свою чергу, призведе до необхідності впровадження нових конструкцій переїздів.

В Україні, як і в багатьох європейських країнах, є багато залізничних переїздів, де виникають і можуть виникнути небажані наслідки як для автомобільного, так і залізничного транспорту. Залізничні переїзди не відповідають сучасним нормам та вимогам щодо ухилу, якості покриття, забезпечення видимості, а тому є необхідність у діагностиці, моніторингу й розробці проектних рішень для підвищення ступеня безпеки руху. Інтеграція транспортної системи України до європейської є тривалою через низький рівень інноваційності, безпеки, надання якісних транспортних послуг та необхідність проведення технологічної модернізації наявної інфраструктури [17].

Значно підвищити безпеку руху через залізничні переїзди можна завдяки правильному управлінню ризиками. Відомі такі способи управління ризиками під час технічного аудиту безпеки руху через залізничні переїзди: визначення та оцінка можливих ризиків, пов'язаних із безпекою руху через залізничні переїзди, що може включати аналіз інфраструктури, переїзного обладнання, поведінки водіїв та пішоходів, а також історичних даних про аварії; визначення ймовірності та наслідків кожного ризику; розробка заходів із контролю ризиків, що може сприяти постійному вдосконаленню системи управління ризиками.

Питанням зовнішнього контролю безпеки руху на залізничному транспорті, зокрема на переїздах, присвячено багато наукових праць. Управління ризиками на залізницях Австрії наведено в роботі [19], де показано, що зниження ризиків під час прийняття рішень можливе на трьох рівнях, причому для кожного рівня характерні багатогалузеві партнерства. Оцінку ризику виконано з точки зору капітальних вкладень, що дає можливість управляти цими ризиками. Аналіз показує, що управління ризиками залізничного оператора та його парт-

## ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

нерів було успішним, але все ще є потенціал для вдосконалення.

У китайській стратегії розвитку [11] застосовано 24 потенційні критичні ризики в залізничній сфері, які поділені на 6 груп. Одним із методів визначення безпеки є анкетування, спрямоване на збір даних про ймовірності виникнення ризику і його вплив. Результати застосування цього методу підтверджують його ефективність, надійність і практичність під час оцінки ризиків, оскільки він дозволяє оцінювати ризики на трьох різних рівнях: фактори ризику, категорії ризику і загальний ризик. Лексична невизначеність і невизначеність через нестачу даних враховані в процесі оцінки.

У роботі [14] наведено математичну модель оцінки ризиків, що призначена для зовнішнього контролю безпеки руху на залізничному транспорті під час технічного аудиту, на основі якої може бути надана комплексна характеристика безпеки руху. Запропонована методика дозволяє визначити заходи або невідкладні дії щодо усунення можливих загрозливих ситуацій у транспортних процесах. Експлуатаційна модель управління ризиками включає показники інвестицій та експлуатаційних витрат, що дозволяє більш точно здійснювати прогноз кількості порушень безпеки руху на залізничному транспорті та управляти ризиками в разі зовнішнього контролю.

На підставі сценаріїв аварій із залученням експертів у роботі [16] виконано оцінку безпеки руху з урахуванням людського фактора. Для допомоги експертам використано методи штучного інтелекту, зокрема машинне навчання. Методи штучного інтелекту призначені для моделювання, зберігання та оцінки знань про безпеку руху, що дало можливість полегшити роботу експертів під час систематизації важливих статистичних даних.

У роботі [23] проаналізовано вимоги до забезпечення безпеки руху на залізничному пасажирському транспорті на підставі теорії управління ризиками та моделі PDCA. Використання моделі PDCA може допомогти залізничним компаніям знизити ризики аварій та інцидентів, підвищити безпеку пасажирських перевезень, поліпшити якість обслуговування пасажирів, зменшити витрати, пов'язані з ава-

рїями та інцидентами. Недоліком побудованої системи є те, що рішення приймають люди, а це, відповідно, вплив людського фактора.

Автори наукової публікації [15] наголошують на необхідності залучення незалежних експертів із проведення технічного аудиту для отримання об'єктивних та неупереджених результатів. Метою дослідження [13] була розробка методики формування групи показників, які відобразать загальний рівень стану безпеки в локомотивному господарстві. Як відповідний математичний апарат у дослідженні обрано метод головних компонент, що дозволяє провести аналіз наявних показників, які характеризують виконану роботу та стан безпеки руху з необхідною мірою інформативності.

Короткий огляд наукових праць мав на меті визначити основні фактори і їхній вплив на ризики, що мають місце в багатьох країнах в разі вирішення проблем безпеки на залізничних переїздах, і встановити сучасні інноваційні технології, застосування яких буде ефективним на мережі залізниць України.

Для зменшення кількості ДТП на залізницях України необхідно вжити такі заходи:

- привести інфраструктуру українських залізниць у відповідність до європейських стандартів;
- удосконалити законодавство та нормативну базу у сфері безпеки на залізницях;
- підвищити рівень обізнаності населення про правила безпеки на залізницях;
- врахувати досвід та кращі практики інших країн.

Упровадження передових технологій із підвищення безпеки руху на залізничних переїздах є важливим кроком для підвищення безпеки залізничного транспорту у Європі та Україні.

Для досягнення стійкого результату необхідний комплексний підхід, який включатиме всі вищеперелічені заходи.

### Мета

Основною метою роботи є оцінка стану залізничних переїздів на дільницях прискореного й швидкісного руху поїздів із подальшою розробкою заходів щодо підвищення безпеки дорожнього руху, огляд інноваційних технологій

## ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

для підвищення безпеки на перетині залізничних колій з автомобільними дорогами. Об'єктом дослідження є процес упровадження інноваційних технологій під час модернізації наявних переїздів для організації швидкісного руху поїздів в Україні.

### Методика

Залізничні переїзди (RLC) є серйозною проблемою безпеки на міжнародному рівні. Їх слід сприймати як необхідність та вживати всіх доступних заходів, щоб зменшити негативні наслідки. Підвищення безпеки на RLC залишається важливим соціальним завданням як у Європейському Союзі, так і в інших частинах світу. Світовий досвід свідчить, що без упровадження інновацій неможливий ефективний розвиток залізничного транспорту. Україна також упроваджує різні інноваційні технології під час реконструкції плану залізниць, однак порівняно з країнами Європи та Північної Америки рівень інновацій української залізничної галузі поки що відстає. Серед відомих інноваційних технологій, які сьогодні застосовують у різних країнах світу, можна назвати такі:

1. Інновації для зменшення ризиків на залізничних переїздах на напрямках швидкісного руху поїздів які включають різноманітні технологічні та інженерні рішення покликані підвищити безпеку руху транспортних засобів.

2. Використання сучасних систем сигналізації та автоматизованого управління може допомогти вчасно виявляти наближення поїздів і вмикати світло-звукові сигнали, що попереджують водіїв та пішоходів про небезпеку.

3. Установлення камер та використання дронів для постійного спостереження на залізничних переїздах може допомогти вчасно виявляти проблеми та втручатися в разі порушень безпеки; урахування інженерних рішень та дизайну для забезпечення кращої видимості та безпеки на переїздах.

4. Сучасні запобіжники для автотранспорту, які оснащені технологією, здатною знижувати бар'єри та забезпечувати більш ефективний захист від зіткнень із поїздами; установлення електронних табло та попереджувальних сис-

тем, що інформують водіїв про наближення поїздів.

5. Використання штучного інтелекту (ШІ), який може допомогти в прогнозуванні ризиків та вчасному виявленні аномалій на переїздах.

Як випливає з викладеного, для управління інноваційними технологіями необхідний широкий спектр цільових заходів та ініціатив безпеки на переїздах, які залишаються відкритими. Наприклад, використання сучасних систем сигналізації та автоматизованого управління, установлення камер та використання дронів для постійного спостереження на залізничних переїздах, використання штучного інтелекту для прогнозування ризиків та вчасного виявлення небезпек на переїздах.

В цій роботі акцент зроблено на використанні комп'ютерного моделювання як важливого інструменту для підвищення безпеки на залізницях, зокрема залізничних переїздах. Комп'ютерні моделі можна використовувати для аналізу різних сценаріїв і визначення змін у системі безпеки, щоб поліпшити ситуацію на переїздах.

Існує прямий зв'язок між рівнем безпеки на залізничних переїздах і рівнем ризику. На залізницях України сьогодні експлуатують 4 945 залізничних переїздів, із яких 2 543 (51 %) – з автобусним рухом; 1 290 – із черговим працівником; 1 262 – обладнані пристроями автоматики, які забезпечують разом із основними шлагбаумами повне перекриття проїзної частини автодороги. Майже половина всіх переїздів розташована на маршрутах основних пасажирських перевезень. Звідси виникає проблема утримання й обслуговування місць перетину залізниць і автодороги, а з урахуванням переходу на європейську або суміщену колію постає актуальне питання щодо будівництва нових чи реконструкції наявних залізничних переїздів.

Окремі питання в цій сфері потребують подальшого дослідження, наприклад, система оцінки рівня безпеки на залізничних переїздах, заміна небезпечних переїздів на шляхопроводи.

Для оцінки безпеки руху залізничного транспорту та автотранспортних засобів у зоні залізничних переїздів використано метод підсумкового коефіцієнта аварійності, який дає змогу визначити стан безпеки в результаті проведеної

## ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

модернізації чи нових проектних рішень [7]. Його величину  $K_A$  для залізничного переїзду визначають шляхом перемноження семи коефіцієнтів аварійності:

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

До цього часу в 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 може привести до різних заходів із підвищення безпеки руху на залізничних переїздах.

Усунути вказані недоліки методу підсумкового коефіцієнта можна, за допомогою формул і графіків, запропонованих у роботі авторів [5], табл. 1.

Таблиця 1

## Розрахункові формули коефіцієнтів аварійності

Table 1

## Calculation formulas for accident rates

Коефіцієнти аварійності	Розрахункова формула
$K_1$ – коефіцієнт, який враховує добову інтенсивність руху поїздів через переїзд $N_n$	$K_1 = \frac{N_n}{3 + 0,1 \cdot N_n}$
$K_2$ – коефіцієнт, який враховує добову інтенсивність руху на автомобільній дорозі $N_a$	$K_2 = 0,0002N_a + 0,423$
$K_3$ – коефіцієнт, який враховує відстань видимості поїзда $L_b$	$K_3 = -0,87Ln(L_b) + 6,387$
$K_4$ – коефіцієнт, який враховує устаткування переїзду $U_i$ : механізовані шлагбауми без сигналізації $U = 4$ , механізовані шлагбауми зі сповіщальною сигналізацією $U = 3$ , автоматична світлова сигналізація $U = 2$ , автоматичний шлагбаум з автоматичною сигналізацією $U = 1$	$K_4 = 0,925 U^2 - 2,115 U + 2,775$
$K_5$ – коефіцієнт, який враховує наявність штучного освітлення переїзду (наявне 1, відсутнє 1,5)	$K_5 = 1,0 \vee 1,5$
$K_6$ – коефіцієнт, який враховує радіус кривої у плані на підходах до переїзду	$K_6 = 959 R^{1,226}$
$K_7$ – коефіцієнт, який враховує поздовжній ухил автомобільної дороги на підходах до переїзду	$K_7 = 0,041 i + 0,474$

## Результати

У запропонованій моделі для визначення коефіцієнтів аварійності вихідні дані вводять з автоматизованої інформаційної системи (АІС) «Переїзд». У системі зберігаються всі необхідні дані про переїзд, такі як місце розташування переїзду (область, дільниця, станція/перегін, пікетажне положення і дистанція, яка його обслуговує). Характеристика переїзду містить таку інформацію: категорія переїзду, регулю-

ваний чи нерегульований, наявність охорони, а також дані про максимальну швидкість руху пасажирських і вантажних поїздів, кількість залізничних колій, добову кількість поїздів, тип автодороги й інтенсивність руху автотранспорту, що перетинають переїзд, наявність автобусного руху. Наводять дані про видимість дороги машиністом з непарної й парної сторони, видимість водієм колії з двох протилежних сторін. Крім того, вказують кут перетину автодороги із залізницею, ухил підходів (непарна й парна

## ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

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, підвищення зовнішньої рейки), поздовжній профіль автодороги, план-схему переїзду. Введення інформації здійснюють на рівні дистанції колії.

Для прикладу в табл. 2 наведено вибірку інформацію щодо переїздів на напрямках регіональної філії «Придніпровська залізниця».

Таблиця 2

## Інформація щодо переїздів на напрямках регіональної філії «Придніпровська залізниця»

Table 2

## Information on moves on the directions of the regional branch of «Prydniprovskia Railways»

Показники з паспорта переїзду	Дніпро – Чаплине	Наумівка – Севастополь	П'ятихатки – Дніпро	Лозова – Синельникове
1. Місце знаходження, км + м по залізниці	214+088	1039+462	109+982	970+578
2. Категорія переїзду (I–IV)	II	I	I	I
3. Ширина переїзду	7,5	7,7	7,0	7,0
4. Через скільки колій	2	2	2	2
5. Ухил підходів (парна/непарна) у %	17/10,6	6/29	0/0	3/4
6. Тип переїзду (із черговим, без чергового)	3 черговим	3 черговим	3 черговим	3 черговим
7. Максимальна встановлена швидкість руху поїздів, км/год	120	135	135	160
8. Кількість поїздів на добу	85	134	91	6
9. Кількість транспортних засобів	4 234	796	72	4 377
10. Умови видимості переїзду машиністом непарного / парного напрямків	800/600	900/1 000	1000/1 000	900/900
11. Автоматична світлофорна сигналізація з автоматичними шлагбаумами / з перекриттям	+	+	+	+
всієї проїзної частини / відеонагляд	+	+	–	–
	+	–	–	–
12. Горизонтально-поворотні шлагбауми з контрольними замками	+	–	+	+
13. Прямий телефонний зв'язок з ДСП або ДНЦ	+	+	+	+



Продовження табл. 2  
Continuation of Table 2

Показники з паспорта переїзду	Дніпро – Чаплине	Наумівка – Севастополь	П'ятихатки – Дніпро	Лозова – Синельникове
13. Прямий телефонний зв'язок з ДСП або ДНЦ	+	+	+	+
14. Радіозв'язок	+	+	+	+
15. Електричне освітлення	+	+	+	+
16. Допущено ДТП				2003, 2007

Розрахунки, виконані за формулами табл. 1, показали, що коефіцієнт аварійності, який дає змогу оцінити стан безпеки в результаті проведеної модернізації чи нових проектних рішень становить, менше ніж 40. Згідно з методикою [7], у разі  $K_A < 40$  переїзди вважають безпечними. Водночас на переїзді I категорії на напрямку Лозова – Синельникове (970+578) було допущено два ДТП – у 2003 і 2007 рр. (табл. 2). Є й інші приклади, які не внесені до табл. 2.

У зв'язку з укладанням на мережі залізниць України колії європейського стандарту (1 435 мм) та впровадженням на головних напрямках швидкісного руху поїздів (до 200 км/год) науковий інтерес становить визначення способів модернізації переїздів [1, 3].

Як можливий варіант упровадження швидкісного руху поїздів розглянемо напрямком Київ – Здолбунів – Львів. На ділянці Київ – Здолбунів, де передбачено рух поїздів зі швидкістю понад 140 км/год, проектно-вишукувальний інститут «Київдіпротранс» рекомендував влаштовувати пересічення автомобільних доріг із залізничними коліями в різних рівнях (шляхопроводи). Але 45 переїздів, через які передбачено пропуск поїздів зі швидкістю до 140 км/год, підлягають переобладнанню автоматичною переїзною сигналізацією з основними та додатковими шлагбаумами, з повним перекриттям проїзної частини автодороги та укладанням гумово-кордового покриття (табл. 3).

Таблиця 3

## Проектні рішення щодо переїздів на напрямку Київ – Здолбунів

Table 3

## Design solutions for relocations on the Kyiv-Zdolbuniv route

Запропоновані заходи	Київ – Коростень	Коростень – Шепетівка	Шепетівка – Здолбунів
Переїзди, які не охороняють, переводять в переїзди з охороною	15	20	10
Заміна переїздів на шляхопроводи	13	3	2

Передбачено, що перед упровадженням швидкісного руху поїздів буде проведено комплекс робіт, необхідний для реалізації максимальної швидкості руху  $160 < V_{\max} \leq 200$  км/год. Нижче наведено опис алгоритму визначення

устаткування переїзду залежно від підсумкового коефіцієнта аварійності  $K_A$ :

1. З АІС «Переїзд» вводять вихідні дані, які необхідні для розрахунку коефіцієнтів  $K_1, K_2, K_3, K_5, K_6, K_7$ , а саме:  $N_n$  – кількість поїздів на добу в обох напрямках;  $N_a$  – кількість транс-

## ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

портних засобів на добу в обох напрямках; наявність штучного освітлення переїзду (наявне 1, відсутнє 1,5), радіус кривої у плані на підходах до переїзду  $R$ , поздовжній ухил автомобільної дороги на підходах до переїзду  $i$ .

2. За формулами (табл. 1) розраховують коефіцієнти  $K_i$ , що впливають на безпеку руху.

3. Для виконання тягових розрахунків за програмою MoveRW вводять вихідні дані: поздовжній профіль, план лінії, обмеження швидкості руху поїзда, дані про рухомий склад (тип локомотива, маса поїзда тощо).

4. Виконують тягові розрахунки для встановлення рівня швидкості руху пасажирського поїзда в місці розташування переїзду.

5. Якщо рівень швидкості менше між 160 км/год, то задають устаткування на переїзді

$U_i (i = 4 \dots 1)$ , і після кожного заданого значення  $U_i$  розраховують коефіцієнт аварійності  $K_A$ . Якщо  $K_A \leq 40$  (переїзд безпечний) або  $40 < K_A \leq 60$  (малонебезпечний), то може бути прийняте рішення зупинити процес пошуку й прийняти задане устаткування переїзду.

6. Якщо  $V_{\max} > 160$  км/год (швидкісний рух), то потрібно комплексне устаткування, що включає автоматичну світлофорну сигналізацію, автоматичний (напівавтоматичний) шлагбаум, загороджувальний бар'єрний пристрій (ЗБП), поїзний радіозв'язок і відеонагляд.

Змінюючи коефіцієнт  $K_4$  за  $U = 4 \dots 1$  (табл. 1), отримано значення, за якими побудовані гістограми (рис. 1–4).

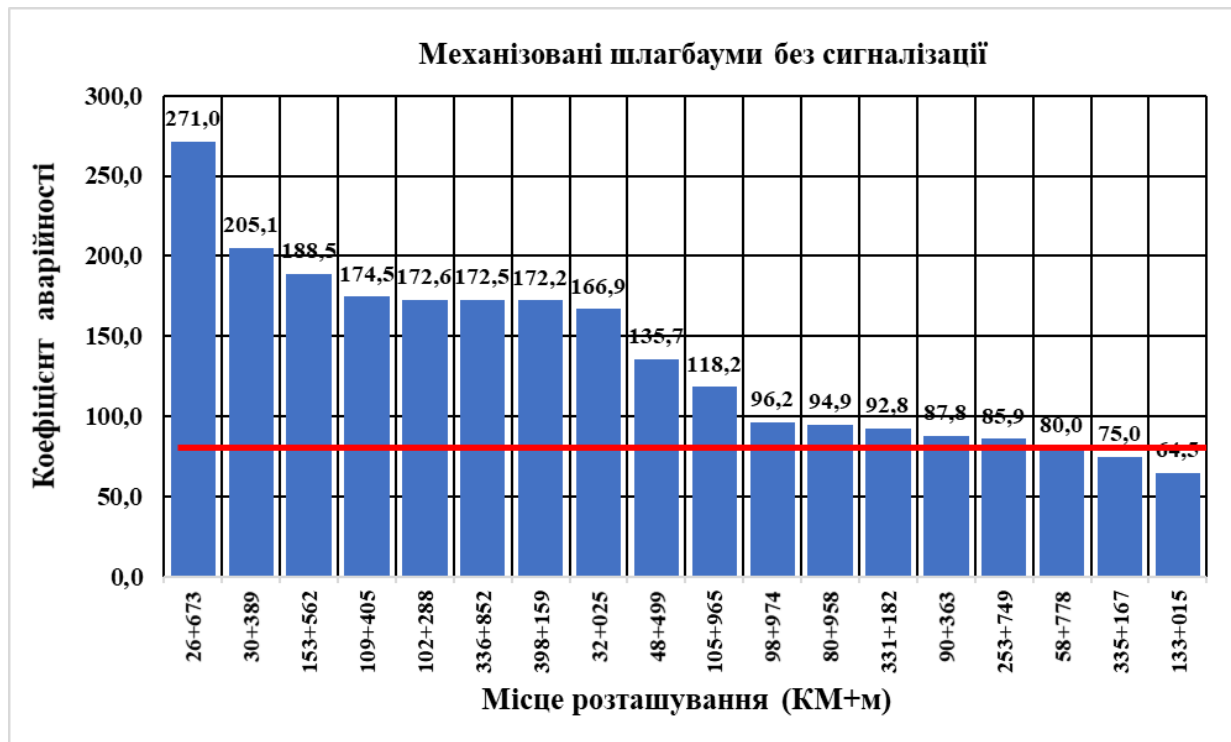


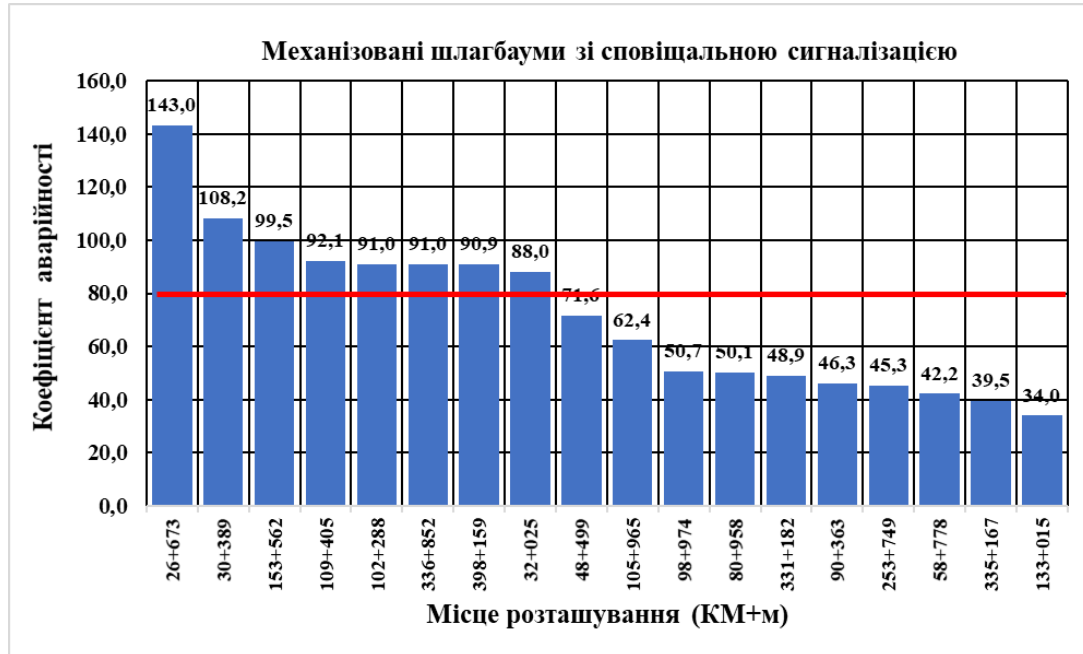
Рис. 1. Коефіцієнт аварійності за  $U = 4$

Fig. 1. Accident coefficient by  $U = 4$

Із рис. 1 випливає, що з 18 переїздів 15 потрапляють до зони дуже небезпечних,  $K_A > 81$ .

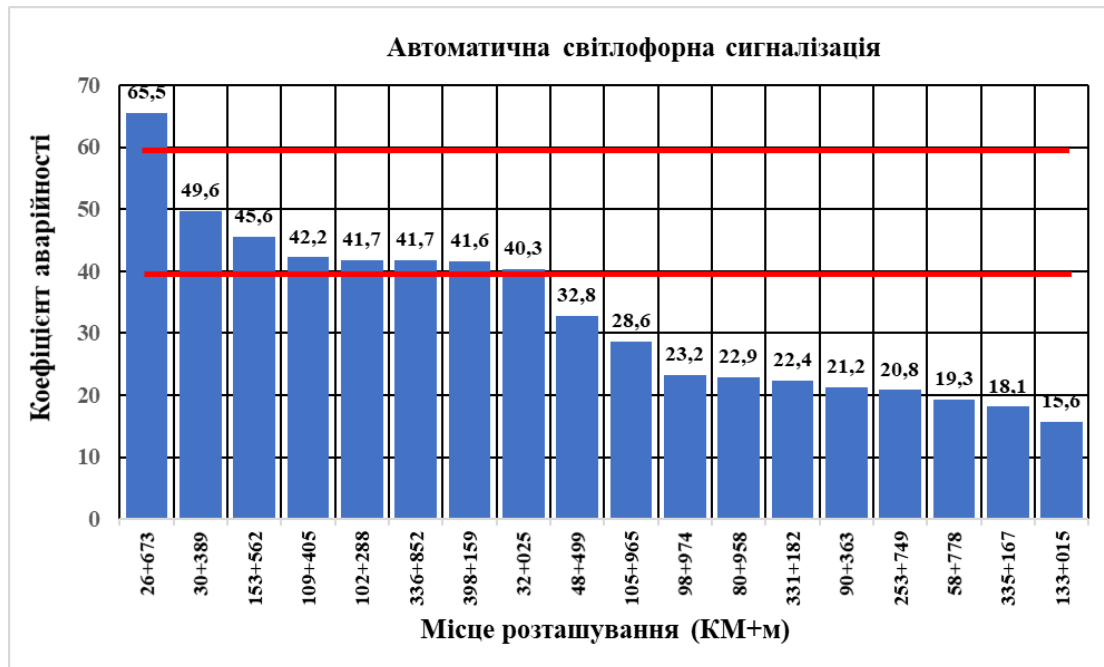
Після модернізації переїздів, що полягає у впровадженні сповіщальної сигналізації, до зони дуже небезпечних потрапляють 8 переїздів (рис. 2).

## ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

Рис. 2. Коефіцієнт аварійності за  $U = 3$ Fig. 2. Accident coefficient by  $U = 3$ 

Унаслідок подальшої модернізації, що передбачає впровадження автоматичної світлофорної сигналізації, переїзди переходять до

категорій: безпечні – 11, малонебезпечні – 6, і тільки один потрапляє до зони небезпечних (рис. 3).

Рис. 3. Коефіцієнт аварійності за  $U = 2$ Fig. 3. Accident coefficient by  $U = 2$

## ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

У разі впровадження автоматичних шлагбаумів із автоматичною сигналізацією тільки

один переїзд на км 26 пікет 6+73 буде перебувати в зоні малонебезпечних (рис. 4).

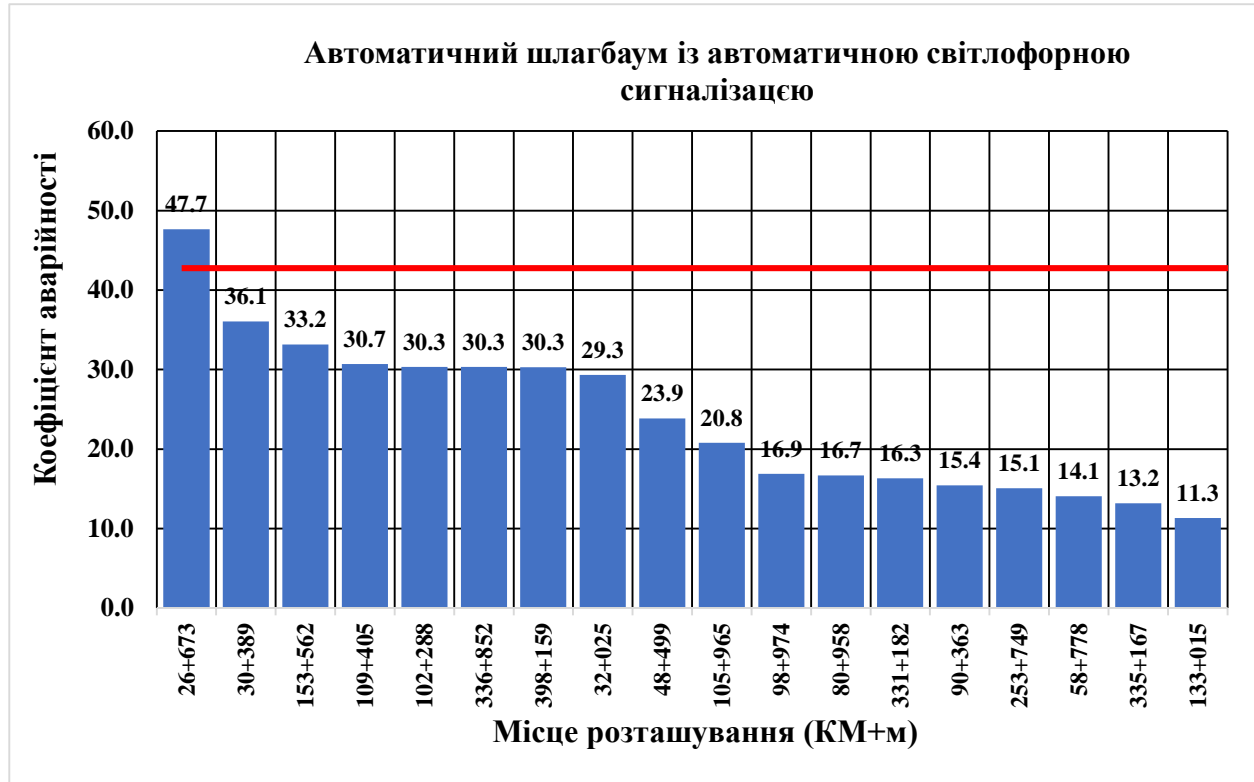


Рис. 4. Коефіцієнт аварійності за  $U = 1$

Fig. 4. Accident coefficient by  $U = 1$

Запропонована модель дозволяє прогнозувати зміни у вихідних даних і отримувати різні значення підсумкового коефіцієнта, а отже, планувати заходи з впровадження інноваційних технологій, що підвищують безпеку руху на переїздах. Закриття залізничних переїздів або перехід на дворівневий перетин залізниці й автодороги (шляхопроводи) – це єдиний спосіб повністю усунути ризик. Однак практично неможливо негайно закрити всі залізничні переїзди. Крім фінансових та практичних обмежень, зручність користувача все ще має бути ключовим фактором.

Деякі з цих ініціатив уже розглядали або впроваджують в різних країнах світу, вони можуть бути корисними і в Україні (табл. 4). Важливо зазначити, що комбінація цих технологій і

підходів може сприяти підвищенню безпеки на залізничних переїздах в Україні. Упровадження таких інновацій може зменшити ризик нещасних випадків та зробити залізницю безпечнішою для всіх учасників руху. Оскільки переїзди функціонують у неоднакових експлуатаційних умовах, вибір пристроїв, що забезпечують безпеку руху, повинен враховувати переваги й недоліки (табл. 4), а також і вартісні показники.

У роботі [12] розглянуто різні варіанти переїздів, що враховують кількість головних колій, кут перетину залізниці автомобільною дорогою і ширину проїзної частини. Для кожного з варіантів визначено обсяги робіт і розраховано укрупнені показники вартості влаштування залізничного переїзду під час капітального ремонту.

Таблиця 4

**Переваги й недоліки пристроїв, що забезпечують безпеку руху на переїздах**

Table 4

**Advantages and disadvantages of devices that ensure traffic safety at crossings**

Пристрої, що забезпечують безпеку руху на переїздах	Призначення пристрою	Переваги	Недоліки
1. Установлення світлофорів і динамічних LED-табло, які інформують водіїв про наближення поїзда	Надають водіям та пішоходам інформацію щодо стану переїзду, показують, чи можна перетинати переїзд. Важливі для керування рухом на залізничному переїзді	Передають інформацію про стан переїзду водіям та пішоходам. Допомагають визначити, коли дорогу можна перетинати або коли потрібно зупинитися.	Не завжди можуть виявити всі небезпечні ситуації. Вимагають регулярного обслуговування та налагодження.
2. Звукові сигнали (оповіщувач звуковий «сирена» С-03–12V AC/DC)	Допомагають водіям та пішоходам реагувати на наближення поїзда. Дзвінки та інші звукові сигнали можуть служити додатковим засобом попередження про небезпеку.	Додатковий спосіб попередження про наближення поїзда. Можуть бути корисними для водіїв та пішоходів з обмеженими можливостями.	Можуть створити додатковий шум, який дехто сприйматиме як надокучливий. Залежать від уваги та реакції водіїв і пішоходів.
3. Обладнання переїздів шлагбаумами для перекриття доріг на всю ширину проїзної частини (шлагбаум автоматичний переїзний із самоопусканням бруса, електродвигуном змінного струму, діелектричним брусом довжиною 6 м, без переїзного світлофора)	Блокують доступ до залізничних колій під час проходження поїзда. Забезпечують фізичний бар'єр між дорогою та коліями, важливі для зупинки транспортних засобів.	Слугують сигналом для водіїв і пішоходів, що наближається поїзд, зменшують ризик смертельних аварій. Повністю блокують проїзну частину, що робить неможливим перетин залізничної колії під час руху поїзда.	Можуть спричинити затримки в русі автотранспорту, особливо на дорогах із великою кількістю залізничних переїздів. Потребують обслуговування та регулярної перевірки, що може вимагати додаткових витрат. Можуть бути уразливими до відмови технічного обладнання
4. Установлення камер спостереження та сучасних сенсорів	Можуть служити для спостереження за дорожнім рухом та реагування на небезпечні ситуації. Можуть бути корисним для запису подій і надання доказів у випадку інцидентів.	Дають можливість записувати події для подальшого аналізу та розслідування інцидентів. Такі записи можуть слугувати доказами для встановлення винних осіб.	Безпосередньо не впливають на рух транспортних засобів. Потребують обслуговування та управління записами.

## ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

Продовження табл. 4  
Continuation of Table 4

Пристрої, що забезпечують безпеку руху на переїздах	Призначення пристрою	Переваги	Недоліки
5. Загороджувальні бар'єрні пристрої (ЗБП)	ЗБП встановлюють на дорозі перед залізничними коліями та піднімають, щоб блокувати дорогу, коли наближається поїзд. Вони є важливою частиною забезпечення безпеки на залізничних переїздах, оскільки перешкоджають доступу автотранспорту до залізничних колій під час проходження поїзда.	Фізичний бар'єр, який блокує доступ до залізничних колій, ефективним способом зупинити автотранспорт перед поїздом.	Можуть стати причиною затримок для транспортних засобів. Зафіксовано вихід із ладу датчиків верхнього та нижнього положення плит, інфрачервоних датчиків для контролю вільності платформ, ультразвукових датчиків знаходження об'єкта на переїзді, безконтактних датчиків для контролю кришки моторного відсіку електродвигуна. Вимагають обслуговування та можуть бути піддатливими до витрат на ремонт.
6. Обладнання переїздів поїзним радіозв'язком (радіостанція стаціонарна УКХ діапазону аналогового режиму роботи «Оріон» РС–4 КХ)	Допомагає підвищити ефективність руху, оскільки машиністи та водії можуть отримувати інформацію про шляхи та маршрути в реальному часі. Допмагає уникнути зіткнень і зменшити затримки.	Упровадження систем цифрового радіозв'язку дозволить передавати по радіоканалу інформацію оперативного технологічного характеру (місце знаходження локомотива, швидкість, технічні показники та ін.), що може значно підвищити безпеку руху, дозволяючи операторам та водіям швидко реагувати на небезпеку та уникати аварій.	Усі переговори ведуть на одній частоті 2,130 МГц у дуплексному режимі, що спричиняє велику завантаженість ефіру та негативно впливає на оперативність передачі повідомлень. Також аналоговий радіозв'язок має низьку перешкодозахищеність порівняно з цифровим радіозв'язком.

У табл. 4 наведено і найбільш відомі пристрої, які можна застосовувати на залізничних переїздах: 1 – світлофори, 2 – звукові сигнали, 3 – шлагбауми для перекриття дороги на всю ширину проїзної частини, 4 – камери спостереження, 5 – загороджувальні бар'єрні пристрої (ЗБП), 6 – обладнання переїздів поїзним радіозв'язком. Щоб визначити кількість можливих комбінацій пристроїв для забезпечення

безпеки руху на переїздах, можна використати методи комбінаторики і кількість можливих комбінацій обчислити за допомогою формули:

$$C(n, k) = n! / (k!(n-k)!), \quad (1)$$

де  $n$  – кількість доступних елементів (6 пристроїв);  $k$  – кількість елементів, які вибираються для комбінації.

## ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

У цьому випадку можемо вибрати будь-яку кількість пристроїв від 0 до 6. Використовуючи формулу (1), отримуємо 64 різні комбінації пристроїв, що можуть забезпечувати безпеку руху на переїздах.

Важливо відзначити, що оптимальний варіант комбінації пристроїв може відрізнитися для різних переїздів. Тому під час вибору обладнання переїзду необхідно враховувати всі фактори, що впливають на безпеку, вартість та експлуатаційні витрати.

Використання всіх пристроїв одночасно є надмірним і може призвести до проблем. Наприклад, шлагбауми можуть заважати видимості світлофорів і динамічних LED-табло. Звукові сигнали можуть бути заглушені іншими шумами. Загороджувальні бар'єрні пристрої можуть бути пошкоджені або заблоковані. Камери спостереження та сучасні сенсори можуть бути дорогими і складними в обслуговуванні. Обладнання переїздів поїзним радіозв'язком може бути неможливим у районах з обмеженим доступом до мобільного зв'язку.

Більш ефективним рішенням є використання комбінації декількох пристроїв, які доповнюють один одного. Конкретний вибір пристроїв

для переїзду повинен бути заснований на таких факторах: інтенсивність руху на переїзді, швидкість руху поїздів, рівень шуму в районі переїзду, вартість і складність обслуговування пристроїв, екологічні аспекти.

Застосуємо в нашій роботі теорію багатокритеріальних рішень (АНР), яка дає можливість оцінити всі альтернативи рішення з точки зору кожного критерію і вибрати ту альтернативу, яка має найкращі показники за всіма критеріями [5, 8, 22].

Для складання матриці А співвідношення важливості висунутих вимог (табл. 5), кожен елемент якої  $a_{i,j}$  є чисельною оцінкою важливості  $i$ -ї вимоги над  $j$ -ю. Бальна оцінка від 1 до 9 передбачає, що один критерій завжди має більший пріоритет, ніж інший. Наприклад, безпека руху (А) має найвищу важливість і може бути оцінена в 9 балів. Стійкість до погодних умов (В) має меншу важливість, ніж безпека руху, і може бути оцінена у 8 балів. Життєвий цикл (С) має меншу важливість, ніж безпека руху або стійкість до погодних умов, і може бути оцінений у 7 балів, а вартість у 5 балів.

Таблиця 5

## Співвідношення висунутих вимог до пристроїв переїздів (матриця А)

Table 5

## Ratio of requirements for crossing devices (matrix A)

Матриця А		Безпека руху	Стійкість до погодних умов	Життєвий цикл	Вартість пристрою	Зносо-стійкість	Склад та технологія	Поточне утримання	Екологічні аспекти
		А	В	С	Д	Е	F	G	Н
1. Безпека руху	А	1	8	7	5	8	7	7	7
2. Стійкість до погодних умов	В	0,13	1	7	5	8	7	7	7
3. Життєвий цикл	С	0,14	0,14	1	6	8	8	6	5
4. Вартість пристрою	Д	0,17	0,2	0,2	1	7	7	6	5

## ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

Продовження табл. 5  
Continuation of Table 5

Матриця А		Безпека руху	Стійкість до погодних умов	Життєвий цикл	Вартість пристрою	Зносо-стійкість	Склад та технологія	Поточне утримання	Екологічні аспекти
		А	В	С	Д	Е	Ф	Г	Н
5. Зносо-стійкість	Е	0,14	0,13	0,13	0,13	1	7	6	5
6. Склад та технологія	Ф	0,14	0,14	0,13	0,14	0,14	1	6	5
7. Поточне утримання	Г	0,17	0,17	0,17	0,17	0,14	0,14	1	3
8. Екологічні аспекти	Н	0,33	0,2	0,2	0,2	0,2	0,14	0,14	1
Сума:		2,22	9,98	15,82	17,63	32,49	37,29	39,14	38

Аналогічно розглянуто й надано оцінку за всіма іншими компонентами.

Зворотне співвідношення вимог за ступенем важливості виражають оберненим числом, тобто:

$$a_{j,i} = \frac{1}{a_{i,j}}. \quad (2)$$

Таким чином, матриця А співвідношення важливості висунутих вимог набуде вигляду матриці В (табл. б).

Таблиця 6

## Співвідношення важливості висунутих вимог до пристроїв переїздів (матриця В)

Table 6

## The ratio of importance of the requirements for crossing devices (matrix B)

МАТРИЦЯ В	А	В	С	Д	Е	Ф	Г	Н
А	0,450	0,802	0,443	0,284	0,246	0,188	0,179	0,184
В	0,056	0,100	0,443	0,284	0,246	0,188	0,179	0,184
С	0,064	0,014	0,063	0,340	0,246	0,215	0,153	0,132
Д	0,075	0,020	0,013	0,057	0,215	0,188	0,153	0,132
Е	0,064	0,013	0,008	0,007	0,031	0,188	0,153	0,132
Ф	0,064	0,014	0,008	0,008	0,004	0,027	0,153	0,132
Г	0,075	0,017	0,011	0,009	0,004	0,004	0,026	0,079
Н	0,150	0,020	0,013	0,011	0,006	0,004	0,004	0,026
Сума:	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000



## ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

Матриця вагомості  $\lambda$  може бути кількісною оцінкою, що вказує на розподілення ступеня важливості за вимогами. Сума всіх елементів складає 1. Елементи матриці вагомості  $\lambda$  визначають за формулою:

$$\lambda_i = \frac{\sum_{j=1}^n b_{i,j}}{n}. \quad (3)$$

Таким чином, матриця вагомості набуде вигляду (табл. 7).

Таблиця 7

Матриця вагомості  $\lambda_i$ 

Table 7

Weighting matrix  $\lambda_i$ 

1. Безпека руху	A	0,347
2. Стійкість до погодних умов	B	0,210
3. Життєвий цикл	C	0,153
4. Вартість пристрою	D	0,107
5. Зносостійкість	E	0,074
6. Склад матеріалів та технологія улаштування	F	0,051
7. Поточне утримання	G	0,028
8. Екологічні аспекти	H	0,029

Як видно з матриці вагомості  $\lambda_i$  (табл. 7), найбільш вагомими за ступенем важливості факторами є вимоги А – Безпека руху і В – Стійкість до погодних умов, що складають відповідно 34,7 і 21,0 %. Найменш вагомими є вимоги Н – Екологічні аспекти і G – Поточне утримання, відповідно 2,9 і 2,8 %. Вагомість інших вимог займає проміжні значення.

Це співвідношення є найбільш поширеним, оскільки безпека руху найважливіше фактором для захисту людей із транспортних засобів від зіткнень з поїздами.

З аналізу отриманих результатів випливає, що сумарний критерій отримали загороджувальні бар'єрні пристрої (ЗБП), які є ефективним способом попередити водіїв і пішоходів про

наближення поїзда. Але вони не можуть повністю перекрити проїзну частину. Камери спостереження та сучасні сенсори можна використовувати для моніторингу переїздів і попередження про наближення поїзда, але вони не можуть замінити шлагбауми. Обладнання переїздів поїзним радіозв'язком можна використовувати для попередження водіїв і пішоходів про наближення поїзда, але воно не може повністю перекрити проїзну частину.

Оцінимо кожну комбінацію пристроїв із точки зору досягнення поставлених цілей і критеріїв. Враховуємо ефективність і можливі обмеження кожної комбінації (див. табл. 4). Залежно від потреб, обмежень і конкретної ситуації на залізничних переїздах можна використати різні комбінації пристроїв. Ось декілька можливих комбінацій:

*Світлофори і звукові сигнали.* Світлофори можуть вказувати транспортним засобам, коли зупинитися і коли продовжувати рух через переїзд. Звукові сигнали можуть допомогти водіям та пасажиром сприймати більше інформації про наближення поїзда.

*Світлофори і шлагбауми.* Світлофори вказують водіям на переїзді, коли слід зупинитися або проїхати. Шлагбауми фізично блокують проїзд на переїзді, коли потяг наближається.

*Шлагбауми та камери спостереження.* Шлагбауми блокують дорогу для транспорту під час наближення поїзда. Камери спостереження використовують для відстеження та моніторингу дорожньої ситуації на переїзді.

*Звукові сигнали і загороджувальні бар'єрні пристрої (ЗБП).* Звукові сигнали інформують про наближення поїзда. ЗБП можуть фізично блокувати рух на переїзді та інформувати водіїв.

*Шлагбауми й обладнання переїздів поїзним радіозв'язком.* Шлагбауми фізично блокують проїзд. Обладнання переїздів поїзним радіозв'язком може забезпечити комунікацію між поїздом і переїздом.

*Світлофори, камери спостереження і загороджувальні бар'єрні пристрої.* Світлофори вказують водіям на переїзді, коли слід зупинитися або проїхати. Камери спостереження використовують для моніторингу дорожньої си-

туації. ЗБП можуть фізично блокувати рух на переїзді.

Це лише кілька можливих комбінацій. Вибір конкретної комбінації залежить від об'єктивних обставин і мети, якої необхідно досягнути на залізничному переїзді.

Вартість світлофорів і шлагбаумів залежить від багатьох факторів, таких як тип світлофора, тип шлагбаума, місце розташування переїзду та інші. Однак у цілому можна сказати, що вартість світлофора становить приблизно 50–100 тисяч гривень, а вартість шлагбаума становить приблизно 100–200 тисяч гривень. Як видно з цих прикладів, вартість світлофорів є приблизно вдвічі меншою, ніж вартість шлагбаумів. Однак, слід враховувати, що вартість світлофорів може бути вищою, якщо їх потрібно встановити на переїзді з високою інтенсивністю руху. Вартість шлагбаумів також може бути вищою, якщо їх потрібно встановити на переїзді з великою шириною.

Звідси випливає, що світлофори є більш дешевим варіантом, ніж шлагбауми. Однак шлагбауми забезпечують більш високий рівень безпеки, оскільки перешкоджають наїзду автотранспорту на поїзди.

Отже, вибір огорожувального пристрою для конкретного переїзду – це комплексне завдання, під час вирішення якого необхідно враховувати такі фактори: інтенсивність руху транспорту на переїзді; вид транспорту, який перетинає переїзд; швидкість руху транспорту на переїзді; ширина переїзду; географічні умови в місці розташування переїзду; економічні фактори; вартість будівництва, експлуатації та обслуговування огорожувального пристрою.

### **Наукова новизна та практична значимість**

Вирішено науково-прикладну задачу щодо впровадження інноваційних технологій під час модернізації наявних переїздів для організації швидкісного руху поїздів. Практична значення реалізація обґрунтованої технології модернізації наявних переїздів забезпечує значне підвищення безпеки руху транспорту і пропускної спроможності.

### **Висновки**

Щоб зменшити ймовірність людської помилки та підвищити безпеку, рекомендовано використовувати як наявні технології, так і інноваційні можливості для розробки нового рішення з безпеки руху на залізничних переїздах.

Для небезпечних переїздів можна рекомендувати встановити автоматичні шлагбауми з автоматичною світлофорною сигналізацією, провести капітальний ремонт підходів автодоріг до переїздів. Для запобігання в'їзду транспортних засобів на переїзд, якщо закриті автоматичні (напівавтоматичні) шлагбауми і ввімкнені червоні миготливі вогні на переїзних світлофорах, щоб забезпечити надійну й безперебійну роботу, встановити загороджувальні бар'єрні пристрої (ЗБП).

Слід поширювати відомі та продовжувати впроваджувати інноваційні рішення, а саме: обладнання переїздів ЗБП, яких на залізницях Укрзалізниці всього 8; відеонаглядом – всього 9; чотирма шлагбаумами – 383 тощо.

Потрібно вдосконалювати оцінку ризиків для обґрунтування стратегії керування залізничними переїздами. В оцінках враховувати такі важливі фактори, як розташування переїзду (у плані, профілі, видимість), інтенсивність руху (залізничного, автомобільного та пішохідного) на ньому, а також історії аварій.

Використовуючи методи ієрархії, мозкового штурму та інші, необхідно визначати й використовувати надійний набір показників для оцінки й забезпечення загальної безпеки пасажирів і транспорту, пов'язаних з усіма аспектами проектування, будівництва, обслуговування та експлуатації залізничної мережі.

Аналіз наведених даних вказує, що в Україні через відсутність обґрунтованої концепції вдосконалювання системи безпеки залізничних переїздів пріоритети в їх розвитку відрізняються від розвинутих країн, що негативно впливає на ефективність їх функціонування як небезпечних транспортних об'єктів.

Упровадження інноваційних технологій під час модернізації наявних переїздів може забезпечити організацію швидкісного руху поїздів за рахунок підвищення рівня безпеки руху на цих переїздах.

## ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

До таких інноваційних технологій належать:

- системи автоматичного контролю та керування переїздами, які дозволяють автоматично закрити переїзд у разі наближення поїзда, що виключає можливість наїзду автотранспорту на поїзд;
- системи відеоспостереження, що дозволяють контролювати стан переїзду та виявляти потенційні загрози, наприклад, перешкоди на переїзді або автомобілі, які намагаються проїхати переїзд на заборонний сигнал світлофора;
- системи штучного інтелекту, що можуть приймати рішення про закриття переїзду в автоматичному режимі на основі аналізу даних з різних джерел, таких як відеокамери, датчики та метеодані.

Реалізація цих технологій дозволить: зменшити час закриття переїзду, що буде сприяти скороченню простою поїздів на переїздах і підвищенню пропускної спроможності залізничних колій; поліпшити видимість переїзду для водіїв, що надасть їм можливість краще оцінити ситуацію на переїзді і прийняти правильне рішення про зупинку або продовження руху; знизити кількість аварій на переїздах.

Упровадження інноваційних технологій є важливим кроком на шляху до організації швидкісного руху поїздів. Ці технології дозволять підвищити рівень безпеки руху на залізничних переїздах і захистити життя людей.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бойник А. Б. *Безопасность железнодорожных переездов*: монографія. Харьков : Транспорт Украины, 2003. 183 с.
2. Водяний А. ЄС розробив стратегію переходу України на євроколію 1435 мм. *LIGA.net*. 2023. URL: <https://biz.liga.net/ua/all/transport/novosti/evrosoyuz-razrabotal-strategiyu-perehoda-ukrainy-na-evroputi-karta>
3. Возняк О. М., Гаврилюк В. І. *Забезпечення безпеки руху на залізничних переїздах* : монографія. Дніпропетровськ : Вид-во ДНУЗТ, 2016. 282 с.
4. Іванов Р. В., Філь Є. В., Курган М. Б. Технологічні інновації для безпеки руху на залізничних переїздах. *Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти, викладачів та науковців «Сучасні дослідження: транспортна інфраструктура та інноваційні технології»* (Київ, 29-30 лист. 2023). Київ, 2023. Ч. 1. С. 106–111.
5. Козинець І. І., Журавель М. О. Переваги та недоліки «мозкового штурму» під час колективного обговорення проблем. *Вісник Дніпропетровського університету імені Альфреда Нобеля. Серія «Педагогіка і психологія». Педагогічні науки*. № 1 (11). 2016. С. 240–244. DOI: <https://doi.org/10.32342/2522-4115-2016-0-11-240-244>
6. Курган М. Б., Курган Д. М., Гусак М. А., Гаврилов М. О., Лужицький О. Ф. Оцінка безпеки руху транспортних засобів на перетині автомобільної дороги й залізниці в одному рівні. *Наука та прогрес транспорту*. 2022. № 2 (98). С. 45–58. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2022/267978>
7. *M 218-03450778-652:2008 Методика оцінки рівнів безпеки руху на автомобільних дорогах України*. [Чинний від 2008-01-01]. Київ : Державна служба автомобільних доріг України (Укравтодор), 2008. 49 с.
8. Мозковий штурм методика – Метод мозкового штурму та його модифікації. *Youthjustice*. URL: <https://youthjustice.org.ua/mozkovij-shturm-metodika-metod-mozkovogo-shturmu-ta-jogo-modifikaci%D1%97-naukovo-osvitnij-portal-iq-nacionalnij-doslidnickij-universitet-vishha-shkola-ekonomiki/>
9. *Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року*. [Чинний від 2018-30-05]. Київ. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#n13>
10. Andrić J. M., Wang J., Zhong R. Identifying the critical risks in railway projects based on fuzzy and sensitivity analysis: a case study of belt and road projects. *Sustainability*. 2019. Vol. 11. Iss. 5. P. 1–18. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11051302>
11. Assessment of safety at level crossings in UNECE member countries and other selected countries and strategic framework for improving safety at level crossings. *ECE/TRANS/WP.1/2017/4*. P. 2–55. URL: <https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2017/wp1/ECE-TRANS-WP1-2017-4e.pdf>

12. Blagojević A, Kasalica S, Stević Ž, 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>
13. Bodnar B., Bolzhelarskyi Ya., Ochkasova O., Hryshechkina T., Černiauskaitė L. Determination of integrated indicator for analysis of the traffic safety condition for traction rolling stock. *The 12th International Scientific Conference Intelligent Technologies in Logistics and Mechatronics Systems (ITELMS'2018)* (Panevėžys, 26–27 April 2018). Kaunas University of Technology. Panevėžys, 2018. P. 45–54.
14. Bulakh M. Zarządzanie ryzykiem systemów logistycznych na podstawie analizy wielowymiarowej. *Materiały, Technologie, Konstrukcje I. T. 1. Predykcja w układach mechanicznych i automatycznych 2020 – modelowanie matematyczne i statystyczne*. Wydawnictwo – Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej. Rzeszów. 2020. S. 75–99.
15. Bulakh M., Okorokov A. Operational model of risk management during the technical audit of traffic safety of railway transport. *Österreichisches Multiscience Journal*. 2020. Vol. 1, No. 28. P. 50–55.
16. Hady-Mabrouk H. Contribution of Artificial Intelligence to Risk Assessment of Railway Accidents / H. Hady-Mabrouk. *Urban Rail Transit*. 2019. Vol. 5. Iss. 2. P. 104–122. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40864-019-0102-3>
17. Kurhan M., Kurhan D., Hmelevska N. Analysis of Feasibility for Implementing European Standard Railway Tracks in Ukraine. *27th International Scientific Conference Transport Means 2023* (Palanga, 04–05 Oct. 2023). Palanga, 2023. Pt. II. P. 605–610.
18. Liang C., Ghazel M., Cazier O., Bouillaut L. Advanced model-based risk reasoning on automatic railway level crossings. *Safety Science*, 2020. Vol. 124. P. 104592. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.104592>
19. Otto A., Kellermann P., Thieken A. H., Máñez Costa M., Carmona M., Bubeck P. Risk reduction partnerships in railway transport infrastructure in an alpine environment. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2019. Vol. 33. P. 385–397. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.10.025>
20. Principles for managing level crossing safety. *Office of Rail & Road*. 2021. URL: [https://www.orr.gov.uk/sites/default/files/2021-06/principles-for-managing-level-crossing-safety-june-2021\\_0.pdf](https://www.orr.gov.uk/sites/default/files/2021-06/principles-for-managing-level-crossing-safety-june-2021_0.pdf)
21. Safer European Level Crossing Appraisal and Technology. *Final Report Summary – SELCAT (Safer European Level Crossing Appraisal and Technology)*. 2008. URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/31487/reporting>
22. Taha H. A. *Operations Research: An Introduction, 11th edition*. 2023. University of Arkansas. URL: <https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/operations-research-an-introduction/P200000003221/9780137625727>
23. Zhu W., Jia Y. The Research on Safety Management Information System of Railway Passenger Based on Risk Management Theory. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2018. Vol. 108. P. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/108/4/042067>

M. B. KURHAN<sup>2\*</sup>, O. F. LUZHYTSKYI<sup>1</sup>, R. V. IVANOV<sup>3</sup>, N. P. KHMELEVSKA<sup>4</sup>,  
V. S. KHMELEVSKYI<sup>5</sup>

<sup>1</sup>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](mailto:kunibor@gmail.com), ORCID 0000-0002-8182-7709

<sup>2</sup>Dep. «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](mailto:oleg.luzhickii@gmail.com), ORCID 0000-0001-6519-7447

<sup>3</sup>Dep. «Transport Infrastructure», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 48, e-mail [ivanovrodion@ukr.net](mailto:ivanovrodion@ukr.net), ORCID 0009-0005-9125-9468

<sup>4</sup>Dep. «Transport Infrastructure», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 48, e-mail [hmelevnela@gmail.com](mailto:hmelevnela@gmail.com), ORCID 0000-0002-2360-8671

<sup>5</sup>Dep. «Transport Infrastructure», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 48, e-mail [Junkpff@gmail.com](mailto:Junkpff@gmail.com), ORCID 0009-0000-3221-6955

## Implementation of Innovative Technologies During The Modernization of Existing Level Crossings for High-Speed Train Traffic

**Purpose.** The main purpose of the study is to review innovative technologies for improving safety at the intersection of railways and roads. The object of research is the processes of functioning – railway crossings with different intensity and parameters of traffic, which require solving a fairly wide range of theoretical, practical and organizational tasks. **Methodology.** The study is based on the theory of mathematical modeling and numerical methods of computer calculations. The subject of the study is indicators that allow to assess the state of safety after modernization or new design solutions. **Findings.** A model of an improved method of the final coefficient is proposed, which allows predicting changes in the initial data and obtaining different values of the final coefficient, and thus planning measures to introduce innovative technologies that improve traffic safety at level crossings. Closing railroad crossings or switching to a two-level intersection of railroad and road (overpasses) is the only way to completely eliminate the risk. However, it is virtually impossible to close all railroad crossings immediately. In addition to financial and practical constraints, user convenience should still be a key factor. Using hierarchy, brainstorming, and other methods, a reliable set of indicators can be identified to assess and ensure the overall safety of passengers and vehicles related to all aspects of the design, construction, maintenance, and operation of the rail network. The introduction of innovative technologies during the modernization of existing level crossings is an important step towards organizing high-speed train traffic. These technologies will increase the level of traffic safety at railroad crossings and protect people's lives. **Originality.** The scientific and applied problem of introducing innovative technologies during the modernization of existing level crossings for the organization of high-speed train traffic has been solved. **Practical value.** The implementation of a sound technology for the modernization of existing level crossings will provide a significant increase in traffic safety and throughput.

*Keywords:* railway crossing; traffic intensity; life cycle; wear resistance; climatic conditions; road safety

### REFERENCES

1. Boynik, A. B. (2003). *Bezopasnost zheleznodorozhnykh perezdov*: monografiya. Kharkov: Transport Ukrainy. (in Russian)
2. Vodiani, A. (2023). EU readies plans for Ukraine's transition to European railway track. *LIGA.net*. Retrieved from <https://biz.liga.net/ua/all/transport/novosti/evrosoyuz-razrabotal-strategiyu-perehoda-ukrainy-na-evroputi-karta> (in Ukrainian)
3. Vozniak, O. M., & Havryliuk, V. I. (2016). *Zabezpechennia bezpeky rukhu na zaliznychnykh pereizdakh*: monohrafiia. Dnipro: Vyd-vo DNUZT. (in Ukrainian)
4. Ivanov, R. V., Fil, E. V., & Kurgan, M. B. (2023). Technological innovations for traffic safety at railway crossings. In *II International scientific and practical conference for applicants for higher education, of educational and scientists* (Vol. 1, pp. 106-111). Kyiv, Ukraine. (in Ukrainian)
5. Kozynets, I. I., & Zhuravel, M. O. (2016). Perevahy ta nedoliky «mozkovoho shturmu» pid chas kolektyvnoho obhovorennia problem. *Bulletin of Alfred Nobel University. Series «Pedagogy and Psychology»*, 1(11), 240-244. DOI: <https://doi.org/10.32342/2522-4115-2016-0-11-240-244> (in Ukrainian)
6. Kurhan, M. B., Kurhan, D. M., Husak, M. A., Havrylov, M. O., & Luzhytskyi, O. F. (2022). Vehicle Traffic Safety Assessment at the Intersection of Highways and Railways at the Same Level. *Science and Transport Progress*, 2(98), 45-58. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2022/267978> (in Ukrainian)
7. *Metodyka otsinky rivniv bezpeky rukhu na avtomobilnykh dorohakh Ukrainy*, 49 M 218-03450778-652:2008. (2008). (in Ukrainian)
8. Mozkovyi shturm metodyka – Metod mozkovoho shturmu ta yoho modyfikatsii. *Youthjustice*. Retrieved from <https://youthjustice.org.ua/mozkovij-shturm-metodyka-metod-mozkovogo-shturmu-ta-jogo-modifikaci%D1%97-naukovo-osvitnij-portal-iq-nacionalnij-doslidnickij-universitet-vishha-shkola-ekonomiki/> (in Ukrainian)
9. *Pro skhvalennia Natsionalnoi transportnoi stratehii Ukrainy na period do 2030 roku*. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#n13> (in Ukrainian)
10. Andrić, J. M., Wang, J., & Zhong, R. (2019). Identifying the Critical Risks in Railway Projects Based on Fuzzy and Sensitivity Analysis: A Case Study of Belt and Road Projects. *Sustainability*, 11(5), 1-18. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11051302> (in English)

## ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

11. Assessment of safety at level crossings in UNECE member countries and other selected countries and strategic framework for improving safety at level crossings. *ECE/TRANS/WP.1/2017/4*, 2-55.  
Retrieved from <https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2017/wp1/ECE-TRANS-WP1-2017-4e.pdf> (in English)
12. Blagojević, A, Kasalica, S, Stević, Ž, 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)
13. Bodnar, B., Bolzhelarskyi, Ya., Ochkasova, O., Hryshechkina, T., & Černiauskaitė, L. (2018, April). Determination of integrated indicator for analysis of the traffic safety condition for traction rolling stock. In *The 12th International Scientific Conference Intelligent Technologies in Logistics and Mechatronics Systems (ITELMS'2018)* (pp. 45-54). Kaunas University of Technology. Panevėžys. (in English)
14. Bulakh, M. (2020). Zarządzanie ryzykiem systemów logistycznych na podstawie analizy wielowymiarowej. *Materiały, Technologie, Konstrukcje 1. T. 1. Predykcja w układach mechanicznych i automatycznych 2020 – modelowanie matematyczne i statystyczne* (s. 75-99). Wydawnictwo – Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej. Rzeszów. (in Polish)
15. Bulakh, M., & Okorokov, A. (2020). Operational model of risk management during the technical audit of traffic safety of railway transport. *Österreichisches Multiscience Journal*, 1(28), 50-55. (in English)
16. Hadj-Mabrouk, H. (2019). Contribution of Artificial Intelligence to Risk Assessment of Railway Accidents / H. Hadj-Mabrouk. *Urban Rail Transit*, 5(2), 104-122.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s40864-019-0102-3>
17. Kurhan, M., Kurhan, D., & Hmelevska, N. (2023, October). Analysis of Feasibility for Implementing European Standard Railway Tracks in Ukraine. 27th International Scientific Conference Transport Means 2023 (Pt. II, pp. 605-610). Palanga. (in English)
18. Liang, C., Ghazel, M., Cazier, O., & Bouillaut, L. (2020). Advanced model-based risk reasoning on automatic railway level crossings. *Safety Science*, 124, 104592. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.104592> (in English)
19. Otto, A., Kellermann, P., Thieken, A. H., Mániez, Costa M., Carmona, M., & Bubeck, P. (2019). Risk reduction partnerships in railway transport infrastructure in an alpine environment. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 33, 385-397. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.10.025> (in English)
20. Principles for managing level crossing safety. *Office of Rail & Road*.  
Retrieved from [https://www.orr.gov.uk/sites/default/files/2021-06/principles-for-managing-level-crossing-safety-june-2021\\_0.pdf](https://www.orr.gov.uk/sites/default/files/2021-06/principles-for-managing-level-crossing-safety-june-2021_0.pdf) (in English)
21. Safer European Level Crossing Appraisal and Technology. *Final Report Summary – SELCAT (Safer European Level Crossing Appraisal and Technology)*. Retrieved from <https://cordis.europa.eu/project/id/31487/reporting> (in English)
22. Taha, H. A. (2023). Operations Research: An Introduction, 11th edition. University of Arkansas. Retrieved from <https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/operations-research-an-introduction/P200000003221/9780137625727> (in English)
23. Zhu, W., & Jia, Y. (2018). The Research on Safety Management Information System of Railway Passenger Based on Risk Management Theory. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 108, 1-5. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/108/4/042067> (in English)

Надійшла до редколегії: 12.11.2023

Прийнята до друку: 14.03.2024