

УДК 625.7/2.14

DOI <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2024.34.18>

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЄКТУВАННЯ ПЕРЕТИНІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ І ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІЙ

Чернишова Оксана Сергіївна¹, Степанчук Олександр Васильович²

¹ кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри інфраструктури авіаційного транспорту,
Державний університет «Київський авіаційний інститут», Київ, Україна,
e-mail: oksana.chernyshova@npp.nau.edu.ua, orcid: 0000-0002-8132-2153

² доктор технічних наук, професор,
професор кафедри комп'ютерних технологій будівництва,
Державний університет «Київський авіаційний інститут», Київ, Україна,
e-mail: oleksandr.stepanchuk@npp.nau.edu.ua, orcid: 0000-0002-2822-3471

Анотація. У статті розглянуто проблеми перетинання автомобільних доріг і залізничних колій з точки зору безпеки та економічних показників. Надано рекомендації стосовно принципів прийняття проектних рішень при будівництві транспортних розв'язок в різних рівнях та підвищенні рівня облаштування залізничного переїзду.

Мета роботи полягає у дослідженні умов безпеки на переїздах при різних розмірах руху поїздів та автотранспортних засобів, а також розробки рекомендацій щодо доцільності улаштування розв'язок у різних рівнях з урахуванням експлуатаційних та економічних факторів.

Методологія. Методи дослідження: аналіз літературних джерел, статистичних і експериментальних даних стосовно впливу затримок транспортних засобів на експлуатаційні та економічні показники, а рівня облаштування переїздів – на показники безпеки.

Результати. Розглянуто показники, які впливають на рівень безпеки перетинань автомобільних доріг із залізницями. Досліджено вплив затримок на залізничних переїздах на показники безпеки, екологічні показники, додаткові витрати на утримання автотранспортних засобів та обслуговування дорожнього одягу. Запропоновано методику оцінки перетинів, які потребують розділення у вертикальній площині першочергово.

Наукова новизна. У статті вперше запропоновано комплексний підхід при оцінці ефективності будівництва розв'язок у різних рівнях на перетині автомобільних доріг із залізничним коліями з урахуванням показників безпеки, експлуатаційних та економічних показників. Отримані результати корисні для планування розвитку міст та магістральних автомобільних доріг.

Практична значущість. Результати роботи можуть застосовуватися для оцінки рівня безпеки перетинань автомобільних доріг із залізницями, а також прогнозування економічних втрат від наявних залізничних переїздів та обґрунтованості будівництва шляхопроводів.

Ключові слова: залізничні переїзди, безпека руху, показники безпеки, розв'язки в різних рівнях, економічна ефективність, екологічні показники, час руху, розміри руху, автомобільна дорога, залізниця, перетинання.

ВСТУП

Залізничні переїзди є зонами підвищеної небезпеки, оскільки перетин залізничних колій з автомобільними дорогами в одному рівні створює ризик зіткнень та аварій. Закордонний і вітчизняний досвід свідчать про те, що для повного усунення можливості таких зіткнень необхідно виключити перетинання автомобілів і поїздів в одному рівні. Це означає, що для безпечного руху необхідно замінювати залізничні переїзди на дворівневі транспортні розв'язки. Такі розв'язки дозволяють розділити рух у вертикальній площині, забезпечуючи безперервне пересування як автотранспортних засобів, так і залізничного транспорту, без ризику зіткнення.

У ряді країн з високим рівнем безпеки дорожнього руху така стратегія активно впроваджується, що сприяє значному зниженню кількості аварій на переїздах. Проте будівництво дворівневих розв'язок потребує великих фінансових інвестицій, що робить їх економічно недоцільними для переїздів із незначним рухом поїздів і автотранспорту. Таким чином, для малих та середніх залізничних переїздів, де потоки транспорту невеликі, витрати на спорудження дворівневих розв'язок є непропорційно великими у порівнянні з ризиком.

Навіть у країнах з розвинутою економікою та транспортною інфраструктурою залишається значна кількість залізничних переїздів, що продовжують функціонувати. Їх модернізація або повна заміна на дворівневі розв'язки потребує часу та значних ресурсів, тому передбачається, що такі переїзди залишатимуться в експлуатації ще досить тривалий час. Це обумовлено як фінансовими обмеженнями, так і необхідністю планового підходу до їх поступового вдосконалення

з метою забезпечення балансу між безпекою руху та економічною ефективністю.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Проблема транспортних пригод в зоні залізничних переїздів є однією з найгостріших у сфері дорожньої безпеки. Аварії на перетинах автомобільних доріг із залізницями призводять до серйозних травм, значних матеріальних збитків і, достатньо часто, до загибелі учасників руху. Так, згідно з офіційною статистикою [2], на залізничних переїздах України щороку фіксується декілька десятків транспортних подій (в 2022 році – 73, в 2023 – 64), які призводять до гибелі (по 9 осіб відповідно у 2022 та 2023 роках) та травмування людей (13 – у 2022 році та 14 – у 2023 році). В роботі [9] автором проаналізовано причини виникнення інцидентів на переїздах, а окремі результати графічно представлено на рис. 1.

Дані, представлені на рис. 1, свідчать про те, що найбільша кількість транспортних подій на залізничних переїздах України обумовлені помилками водіїв (63%) або умисним порушенням Правил дорожнього руху (21%). Така ситуація змушує відшукувати нові способи підвищення безпеки на переїздах, які полягають як у посиленні контролю за дотриманням правил, так і у підвищенні рівня технічного оснащення, а в деяких випадках – і запровадження більш дорогих реконструктивних заходів. Роботи [4; 5; 9; 10; 15; 17–19] присвячені дослідженням щодо забезпечення безпеки в зонах залізничних переїздів, аналізу світового та вітчизняного досвіду застосування нових систем сигналізації та блокування. Методики оцінки рівня безпеки на перетинах автомобільних доріг із залізницями



Рис. 1. Причини транспортних подій на залізничних переїздах

запропоновані в роботах [5; 13], в основу яких покладено процедуру визначення підсумкового коефіцієнта аварійності. Наукова праця [21] присвячена дослідженню впливу поведінки водіїв автотранспортних засобів та їх психологічного стану на рівень безпеки в зоні перетину.

В Україні вимоги до улаштування розв'язок в одному або різних рівнях на перетині автодороги і залізниці регламентуються нормативними документами [1; 7; 14]. Ці документи визначають вимоги до організації безпечного руху на залізничних переїздах, включаючи умови, за яких доцільно будувати перетини у різних рівнях. Основні правила проєктування перетинань наведено в роботах [11; 20], вимоги щодо улаштування перетинань, їх облаштування, правил експлуатації та забезпечення безпеки викладено в правилах та інструкціях [8; 12].

Зважаючи на те, що виникнення транспортної події на перетинанні автодороги і залізниці призводить до ряду негативних наслідків (високий рівень смертності і травматизму, суттєві матеріальні збитки, затримки часу руху, підвищене забруднення навколишнього середовища і т. ін.), питання організації руху в різних рівнях набуває особливої гостроти. Але через високу вартість реалізації подібних проєктів потребує додаткового вивчення та розробки рекомендацій.

Ґрунтуючись на перелічених вище нормах [1; 7; 14] можна узагальнити вимоги щодо потреби в улаштуванні перетинів із залізницею в різних рівнях:

1) перехрещення автомобільних доріг I–III категорій із залізничними коліями необхідно проєктувати в різних рівнях;

2) перехрещення автомобільних доріг IV–V категорій із залізничними коліями в різних рівнях необхідно проєктувати у таких випадках:

- при перехрещенні трьох і більше головних колій;
- при перехрещенні із залізничними коліями, на яких швидкість руху становить понад 80 км/год;
- за інтенсивності руху на даній ділянці залізничної колії понад 16 потягів за добу;
- при перехрещенні залізничних колій у виїмках або у випадках, коли не забезпечена необхідна видимість.

3) перетин нових залізничних ліній і під'їзних колій з іншими залізничними лініями і під'їзними коліями, трамвайними, троллейбусними лініями, магістральними вулицями загальноміського значення і швидкісними міськими автомобільними дорогами,

а також з автомобільними дорогами I–III категорій проєктується в різних рівнях;

4) перетин залізниць з іншими автомобільними дорогами слід проєктувати в різних рівнях у випадках:

- якщо автомобільна дорога пересікає три і більше головних колій;

- якщо в місці перетину може бути реалізована швидкість руху пасажирських поїздів понад 120 км/год або інтенсивність руху складає понад 100 поїздів за добу;

- якщо на автомобільних дорогах передбачається троллейбусний рух або улаштування трамвайних колій;

- якщо залізниця прокладена у виїмці, а також у випадку, коли на переїзді не можуть бути забезпечені норми видимості відповідно до ДБН В.2 3.4 та в інших випадках, коли потрібна охорона переїзду.

Оскільки нормативні документи України чітко не регламентують інтенсивність руху автомобільного транспорту, при якій потрібно передбачати перетин в різних рівнях, а категорійність дороги передбачає певні діапазони, то подібні рішення приймаються на основі ретельного вивчення кожного окремого випадку.

У світовій практиці при вирішенні подібних питань призначають перетинання в різних рівнях за наявності наступних показників:

- інтенсивність руху автотранспорту: понад 20000 автомобілів/добу;

- розміри руху поїздів: понад 20 пар поїздів/добу;

- довжина поїзда: понад 1000 м;

- швидкість руху поїздів: понад 160 км/год.

Зазвичай рішення ґрунтується на комплексному аналізі всіх факторів, що впливають на конкретну ситуацію. Влаштування перетинів у різних рівнях нерідко потребує суттєвого фінансування, але може бути обґрунтованим в довгостроковій перспективі, забезпечивши більш високий рівень безпеки, ефективності та зручності функціонування як автомобільного, так і залізничного транспорту.

МЕТА

Мета роботи полягає у формулюванні рекомендацій щодо потреби в будівництві перетинів автомобільних доріг із залізницями в різних рівнях, виходячи не лише з умов безпеки, а також враховуючи ряд додаткових факторів. Оскільки наявність залізничних переїздів знижує рівень безпеки на дорогах, а також призводить до погіршення

ряду експлуатаційних показників, то в статті розроблено вдосконалення до існуючих методик з оцінки ефективності будівництва дворівневих транспортних розв'язок.

Кінцевим результатом є модель, котра дозволить надавати рекомендації щодо ділянок, на яких улаштування шляхопроводів є найбільш обґрунтованим з урахуванням вимог безпеки та економічних показників.

РЕЗУЛЬТАТИ І ОБГОВОРЕННЯ

Наявність залізничних переїздів не лише знижує рівень безпеки на дорогах, але й призводить до погіршення таких експлуатаційних показників: зниження рівня середньої швидкості; зростання часу руху; підвищеного споживання паливо-енергетичних ресурсів; збільшення обсягів викидів відпрацьованих газів у навколишнє середовище; наявність додаткових ділянок гальмування та розгону в зоні переїзду, що призводить до підвищеного зносу покриттів автомобільних доріг й додаткових витрат на експлуатаційне утримання та ін. Водночас, на місцевих дорогах улаштування шляхопроводів може бути недостатньо доцільним не лише з точки зору фінансової складової, а й обмежуватися місцевими умовами (наприклад, існуючою забудовою). В таких випадках уникнути затримок автотранспортних засобів не вдасться, але рівень безпеки можна підвищити за рахунок удосконалення облаштування переїзду.

Оцінити рівень безпеки на перетині залізниці і автомобільної дороги можна за реальними статистичними даними дорожньо-транспортних пригод, а також спрогнозувати за коефіцієнтами аварійності, які залежать від багатьох факторів: розмірів руху поїздів, інтенсивності руху автотранспортних засобів, облаштування переїзду, відстані

видимості переїзду та його освітлення і т. ін. Підсумковий коефіцієнт аварійності, який достатньо повно характеризує рівень безпеки, визначається з виразу [5; 13]:

$$K_{авар} = \sum_{i=1}^n K_{ai}, \quad (1)$$

де K_{ai} – частковий коефіцієнт аварійності;

n – перелік ознак для дослідної ділянки.

За кожною з перелічених вище категорій було оцінено частковий коефіцієнт аварійності, що надає змогу в подальшому розрахувати підсумковий коефіцієнт аварійності та встановлювати ступінь небезпеки ділянки й надавати рекомендації щодо покращення рівня безпеки. Так, в залежності від оснащення, неохороняємий переїзд може характеризуватися частковим коефіцієнтом аварійності в межах 1...6,5, в той час як охороняємий – 0,9...3,2, що свідчить про зменшення ризику виникнення дорожньо-транспортних пригод, як мінімум, удвічі при відповідному облаштуванні переїзду. Для прикладу, на рис. 2 представлено окремі значення часткового коефіцієнту аварійності у залежності від облаштування охороняемого переїзду. З діаграми видно, що лише обладнання автоматичною світлофорною сигналізацією та автоматичним шлагбаумом дозволяє отримувати прогнозований рівень безпеки в допустимих межах.

Також на рівень безпеки суттєво впливають розміри руху в зоні перетину. Для наочності на рис. 3 представлена залежність часткового коефіцієнту аварійності від інтенсивності руху автотранспортних засобів, а на рис. 4 – залежність часткового коефіцієнта аварійності від розмірів руху поїздів. Наведені графіки свідчать про те, що зона ризику суттєвого зниження рівня безпеки на перетині залізниці з автодорогою з'являється за умови



Рис. 2. Залежність часткового коефіцієнта аварійності від обладнання охороняемого переїзду

інтенсивності руху автотранспортних засобів понад 5000 авт./добу і більше та при розмірах руху поїздів 10 і більше пар/добу.

Слід відмітити, що розвиток транспортної та житлової інфраструктури населених пунктів відбувався достатньо часто без координації із залізницями і тому сприяв появі «вузьких» місць перетину транспортних потоків з об'єктами залізничної інфраструктури. Особливо це стосується переїздів, які характеризуються інтенсивним рухом пасажирських автобусів. У зв'язку з експлуатацією переїздів не лише знижується рівень безпеки на дорогах населених пунктів та магістральних лініях, а також закономірно фіксуються затримки автотранспортних засобів та пов'язані з цим економічні витрати, що обумовлюються додатковими витратами палива, підвищенням рівнем викиду шкідливих речовин в навколишнє середовище, міськими ефектами. Так, на рис. 5 наведено залежність втрат від простоїв автотранспортних засобів при пропуску

розрахункової кількості поїздів за добу із розрахунку 5 хвилин на пропуск одного поїзда.

З рис. 5 видно, що найбільш інтенсивно втрати від простоїв зростають на ділянках з інтенсивністю руху автотранспортних засобів понад 4000 авт/добу та при розмірах руху поїздів 20 і більше пар поїздів/добу.

Проведені авторами дослідження дозволяють стверджувати, що на додаткових ділянках гальмування та розгону, що мають місце в зоні переїздів знос покриття зростає, як мінімум, на 20%, що призводить до додаткових витрат на експлуатаційне утримання дорожнього одягу. Також даний показник залежить від параметрів плану і профілю на підходах до переїзду і потребує більш детального вивчення в подальших роботах. Витрати паливо-енергетичних ресурсів у разі затримок можуть зростати на 10...20% у залежності від типу автотранспортного засобу та характеристик його двигуна, а також від параметрів поздовжнього профілю. Спираючись на

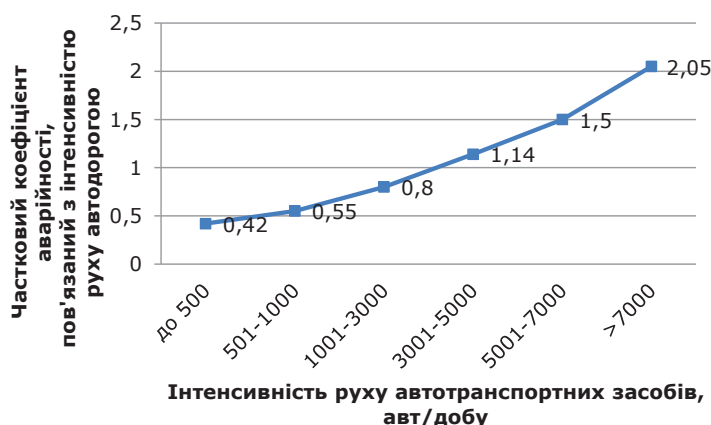


Рис. 3. Залежність часткового коефіцієнта аварійності від інтенсивності руху автотранспортних засобів

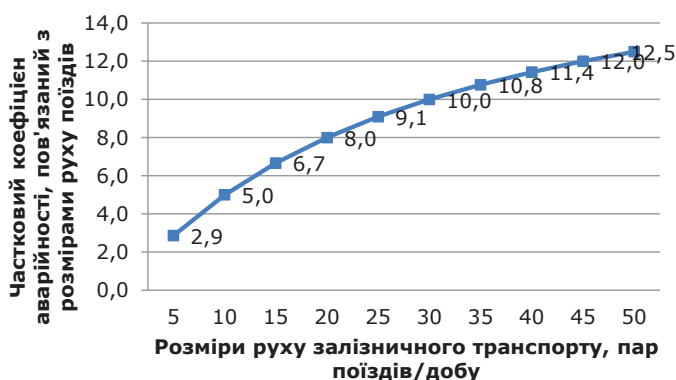


Рис. 4. Залежність часткового коефіцієнта аварійності від розмірів руху поїздів

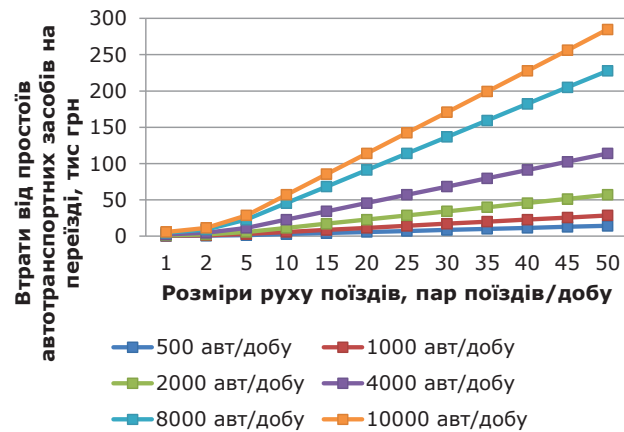


Рис. 5. Втрати від простоїв автотранспортних засобів

матеріали [3], можна зробити висновок, що викиди шкідливих речовин в навколишнє середовище через вимушені простоя на переїздах також можуть зростати до 20...30% та визначатися за виразом:

$$W = \Delta e \cdot t \cdot N, \quad (2)$$

де Δe – додаткові викиди шкідливих речовин одним автомобілем в режимі роботи двигуна на холостому ході;

t – час простою;

N – кількість автотранспортних засобів.

Також, як згадано вище, виникнення транспортних пригод на залізничних переїздах обумовлює матеріальні збитки на відновлення пошкодженого майна, на лікування травмованих осіб, а також пов'язаних із загибеллю людей.

На підставі проведених досліджень і розрахунків, а також з урахуванням методики, викладеної в [16], авторами запропоновано наступну економіко-математичну модель для оцінки ефективності улаштування розв'язки в різних рівнях на перетинах автодоріг та залізниць. Економія витрат на утримання ділянки дороги за умови улаштування різнорівневої розв'язки буде становити:

$$E = e_t + e_a + e_e + e_p + e_k, \quad (3)$$

де e_t – втрати, обумовлені простоями автотранспортних засобів;

e_a – додаткове споживання паливно-енергетичних ресурсів;

e_e – додаткові витрати, обумовлені підвищеним рівнем викиду шкідливих речовин в навколишнє середовище;

e_p – додаткові витрати, обумовлені більш інтенсивним зносом покриття дороги;

e_k – витрати, обумовлені зменшенням кількості транспортних подій на переїздах

у разі заміни їх різнорівневими транспортними розв'язками.

Застосування запропонованої моделі доречно за необхідності підрахунку додаткових витрат, обумовлених наявним залізничним переїздом та порівнянні отриманих результатів з вартістю будівництва транспортної розв'язки. За умови високої інтенсивності руху автотранспортних засобів та розмірів руху поїздів, зниження кількості аварійних ситуацій, окупність будівництва може бути відносно невисокою. Також при прийнятті рішення потрібно враховувати статистику дорожньо-транспортних пригод на дослідній ділянці та прогнозовані коефіцієнти аварійності, визначення яких наведено вище.

ВИСНОВКИ

Проведений аналіз підтвердив, що перетини автомобільних доріг і залізничних колій є зонами підвищеного ризику, що обумовлюється значним числом дорожньо-транспортних пригод, викликаних як помилками водіїв, так і порушенням ними Правил дорожнього руху. Ситуація вимагає застосування сучасних технічних рішень і посилення контролю для підвищення рівня безпеки на таких ділянках.

Запропонована модель оцінки ефективності будівництва дворівневих розв'язок дозволяє враховувати не лише економічні та екологічні показники, а й питання безпеки. Завдяки використанню підсумкового коефіцієнта аварійності, модель забезпечує комплексний підхід до визначення обґрунтованості будівництва транспортних розв'язок у різних рівнях на перетинах доріг і залізниць.

Запропоновані методи аналізу та рекомендації щодо улаштування перетинів у різних рівнях є важливими для підвищення

безпеки на ділянках із високою інтенсивністю руху, значною кількістю поїздів та недостатньою видимістю. Особливо важливими є рішення для перетинів, які розташовані на магістральних дорогах або в зонах активного міського руху.

Таким чином, проведене дослідження підтвердило важливість застосування комплексного підходу до проектування перетинів автомобільних доріг і залізничних колій, що враховує економічні, екологічні та безпекові фактори. Результати можуть бути корисними для розробки нормативних документів і вдосконалення методик з оцінки безпеки руху та ефективності функціонування міської транспортної інфраструктури.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Автомобільні дороги: Проектування. Будівництво: ДБН В.2.3-4:2015. [Чинний від 2016-04-01, зі змінами та доповненнями від 2019 р. та 2021 р.]. Київ: Мінрегіон України, 2015. 104 с. (Державні будівельні норми).
- [2] Аналіз стану безпеки руху та аварійності на наземному транспорті в Україні за 2023 рік. URL: <https://dsbt.gov.ua/diialnist/bezpeka-na-transporti/analiz-stanu-bezpeky-rukhu-ta-avariinosti-na-nazemnomu-transporti-v-ukraini-za-2023-rik>.
- [3] Бойченко С. В., Дмитруха Т. І., Запорожець О. І., Маджд С. М., Матвеева О. Л., Шаманський С. Й. Транспортна екологія: навчальний посібник. Київ: Вид-во НАУ, 2017. 507 с.
- [4] Возняк О. М. Методи, заходи та засоби підвищення безпеки руху на залізничних переїздах. *Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті*: наук. журнал. Дніпро, 2015. Вип. 9. С. 65–75.
- [5] Возняк О. М. Оцінка стану безпеки на залізничних переїздах. *Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті*: наук. журнал. Дніпро, 2015. Вип. 10. С. 69–76.
- [6] Возняк О. М. Підвищення ефективності контролю рухомих одиниць у системах безпеки на залізничних переїздах: автореф. дис. к.т.н.: 05.22.20. Дніпро, 2017. 20 с.
- [7] Вулиці і дороги населених пунктів: ДБН В.2.3-5:2018. [Чинний від 2018-09-01]. Київ: Мінрегіон України, 2018. 56 с. (Державні будівельні норми).
- [8] Інструкція з улаштування та експлуатації залізничних переїздів: ЦП-174. [Чинний від 2007-01-26, зі змінами та доповненнями від 2011 р.], Київ: Міністерство транспорту України, 2007. 70 с.
- [9] Лужицький О. Забезпечення безпеки руху на залізничних переїздах. *Українська залізниця*: міжнародн. техн.-економ. журнал. 2016. № 7 (37). С. 52–56.
- [10] Пальчик А., Соколенко Т. Підвищення ефективності функціонування перехрещень і примикань в одному рівні без зміни геометричних параметрів. *Дороги і мости*: зб. наук.праць. Київ, 2020. Вип. 22. С. 225–233.
- [11] Потійчук О. Б., Піліпака Л. М. Транспортні розв'язки: навчальний посібник. Рівне: Вид-во НУВГП, 2020. 263 с.
- [12] Правила технічної експлуатації залізниць України. [Чинний від 1996-12-20, зі змінами та доповненнями від 2003 р.], Київ: Міністерство транспорту України, 1996. 86 с.
- [13] Руденко Д. В., Ренкас А. А., Товарянський В. І. Оцінка впливу дорожніх умов на аварійність із застосуванням багатофакторної моделі. *Вісник ЛДУБЖД*: зб. наук.праць. Львів, 2021. № 24. С. 33–39.
- [14] Споруди транспорту. Залізничні колії 1520 мм. Норми проектування: ДБН В.2.3-19: 2018. [Чинний від 2019-04-01]. Київ: Мінрегіонбуд, 2018. 129 с. (Державні будівельні норми).
- [15] Технологія DLVP для більшої безпеки на залізничних переїздах у Оттаві. URL: <https://www.railway.supply/uk/tehnologiya-dlvp-dlya-bilsho%D1%97-bezpeki-na-zaloznichnih-pere%D1%97zdah-u-ottavi/>.
- [16] Чернишова О. С. Економічний аспект улаштування розв'язок автомобільного та залізничного транспорту при впровадженні прискореного і швидкісного руху. *Проблеми розвитку міського середовища*: наук.-техн. зб.. К.: Вид-во НАУ, 2018. Вип. 1 (20). С. 228–236.
- [17] Highway-Rail Grade Crossing Safety. URL: <https://railroads.dot.gov/railroad-safety/divisions/highway-rail-crossing-and-trespasser-programs/railroad-crossing-safety>.
- [18] Innovative solutions to improve level crossing safety. URL: <https://nordicroads.com/innovative-solutions-improve-level-crossing-safety>.
- [19] Level crossings in Britain. URL: <https://www.networkrail.co.uk/communities/safety-in-the-community/level-crossing-safety>.
- [20] Recommended techniques for railway level crossing safety assessment in the Asia-Pacific Region URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/CHAPTER-4-%3A-RECOMMENDED-TECHNIQUES-FOR-RAILWAY-IN-4/e1f930ca5fdae75b3e16de8a1b68099c6efd1aee>.
- [21] Wang Q., Wang X., Xia M., Cao H., Shen Y. Design analysis of road and railway interchange based on behavioral psychology / *Abstracts: Symposium on Mental Health of Citizens in Pacific Rim Nations*. Kuala Lumpur, 2022. Vol. 34, Suppl. 5. pp. 107–109.

REFERENCES

- [1] Ministry of Regional Development of Ukraine. (2015). *Avtomobilni dorohy: Proektuvannia. Budivnytstvo*: DBN V.2.3-4:2015 [Highways: Design. Construction: DBN V.2.3-4:2015]. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine. 104 s. [in Ukrainian].
- [2] Analiz stanu bezpeky rukhu ta avariinosti na nazemnomu transporti v Ukraini za 2023 rik [Analysis of traffic safety and accidents on land transport in Ukraine in 2023]. Retrieved from: <https://dsbt.gov.ua/diialnist/bezpeka-na-transporti/analiz-stanu-bezpeky-rukhu-ta-avariinosti-na-nazemnomu-transporti-v-ukraini-za-2023-rik> [in Ukrainian].

[3] Boichenko, S. V., Dmytrukha, T. I., Zaporozhets, O. I., Madzhd, S. M., Matvieieva, O. L., & Shamanskyi, S. Y. (2017). *Transportna ekolohiia [Transport ecology]: navchalnyi posibnyk*. Kyiv: Vyd-vo NAU. 507 s. [in Ukrainian].

[4] Vozniak, O. M. (2015) *Metody, zakhody ta zasoby pidvyshchennia bezpeky rukhu na zaliznychnykh pereizdakh [Methods, measures and means to improve traffic safety at railroad crossings]*. *Elektromahnitna sumisnist ta bezpeka na zaliznychnomu transporti: nauk. zhurnal*. Dnipro, Vyp. 9. S. 65–75. [in Ukrainian].

[5] Vozniak, O. M. (2015) *Otsinka stanu bezpeky na zaliznychnykh pereizdakh [Assessment of safety at railway crossings]*. *Elektromahnitna sumisnist ta bezpeka na zaliznychnomu transporti: nauk. zhurnal*. Dnipro, Vyp. 10. S. 69–76. [in Ukrainian].

[6] Vozniak, O. M. (2017) *Pidvyshchennia efektyvnosti kontroliu rukhomykh odynyts u systemakh bezpeky na zaliznychnykh pereizdakh [Improving the efficiency of rolling stock control in railway crossing safety systems]*. *Extended abstract of Candidate's thesis*. Dnipro. 20 p. [in Ukrainian].

[7] Ministry of Regional Development of Ukraine. (2018). *Vulytsi i dorohy naselenykh punktiv: DBN V.2.3-5:2018 [Streets and Roads of Settlements: DBN V.2.3-5:2018]*. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine. [in Ukrainian].

[8] Ministry of Transport of Ukraine. (2007). *Instruktsiia z ulashtuvannia ta ekspluatatsii zaliznychnykh pereizdiv: TsP-174 [Instruction on the arrangement and operation of railway crossings: CP-174]*. Kyiv: Ministry of Transport of Ukraine. 70 s. [in Ukrainian].

[9] Luzhytskyi, O. (2016) *Zabezpechennia bezpeky rukhu na zaliznychnykh pereizdakh [Ensuring traffic safety at railway crossings]*. *Ukrainska zaliznytsia: mizhnarodn. tekhn.-ekonom. zhurnal*. № 7 (37). S. 52–56. [in Ukrainian].

[10] Palchuk, A., & Sokolenko, T. (2020) *Pidvyshchennia efektyvnosti funktsionuvannia perekhreshchen i prymykan v odnomu rivni bez zminy heometrychnykh parametriv [Improving the efficiency of intersections and junctions in one level without changing geometric parameters]*. *Dorohy i mosty: zb. nauk.prats.* Kyiv, Vyp. 22. S. 225–233 [in Ukrainian].

[11] Potiichuk, O. B., & Pilipaka, L. M. (2020). *Transportni rozviazky [Transportation interchanges]: navchalnyi posibnyk*. Rivne: Vyd-vo NUVHP. 263 p. [in Ukrainian].

[12] Ministry of Transport of Ukraine. (1996). *Pravyla tekhnichnoi ekspluatatsii zaliznyts Ukrainy [Rules*

of technical operation of Ukrainian railways]. Kyiv: Ministry of Transport of Ukraine. 104 s. [in Ukrainian].

[13] Rudenko, D. V., Renkas, A. A., & Tovarianskyi, V. I. (2021) *Otsinka vplyvu dorozhnikh umov na avariinist iz zastosuvanniam bahatofaktornoj modeli [Estimation of the influence of road conditions on accident rate using a multifactor model]*. *Visnyk LDUBZhd: zb. nauk.prats.* Lviv. № 24. p. 33–39 [in Ukrainian].

[14] Ministry of Regional Development of Ukraine. (2018). *Sporudy transportu. Zaliznytsi kolii 1520 mm. Normy proektuvannia: DBN V.2.3-19:2018 [Transportation facilities. Railways of 1520 mm gauge. Design standards: DBN V.2.3-19:2018]*. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine. 129 s. [in Ukrainian].

[15] *Tekhnolohiia DLVP dlia bilshoi bezpeky na zaliznychnykh pereizdakh u Ottavi [DLVP technology for greater safety at railroad crossings in Ottawa]*. Retrieved from: <https://www.railway.supply/uk/tehnologiya-dlvp-dlya-bilsho%D1%97-bezpeki-na-zaliznichnih-pere%D1%97zda-h-u-ottavi/> [in Ukrainian].

[16] Chernyshova, O.S. (2018). *Ekonomichniy aspekt ulashtuvannia rozviazok avtomobilnoho ta zaliznychnoho transportu pry vprovadzheni pryskorenoho i shvydkisnoho rukhu [Economic aspect of road and rail transport interchanges arrangement when implementing accelerated and high-speed traffic]*. *Problemy rozvytku miskoho seredovyscha: nauk.-tekhn. zb.. K.: Vyd-vo NAU. Vyp. 1 (20). S. 228–236 [in Ukrainian]*.

[17] *Highway-Rail Grade Crossing Safety*. Retrieved from: <https://railroads.dot.gov/railroad-safety/divisions/highway-rail-crossing-and-trespasser-programs/railroad-crossing-safety> [in English].

[18] *Innovative solutions to improve level crossing safety*. Retrieved from: <https://nordicroads.com/innovative-solutions-improve-level-crossing-safety> [in English].

[19] *Level crossings in Britain*. Retrieved from: <https://www.networkrail.co.uk/communities/safety-in-the-community/level-crossing-safety> [in English].

[20] *Recommended techniques for railway level crossingsafetyassessmentintheAsia-PacificRegion*. Retrieved from: <https://www.semanticscholar.org/paper/CHAPTER-4-%3A-RECOMMENDED-TECHNIQUES-FOR-RAILWAY-IN-4/e1f930ca5fdae75b3e16de8a1b68099c6efd1aee> [in English].

[21] Wang Q., Wang X., Xia M., Cao H., Shen Y. (2022). *Design analysis of road and railway interchange based on behavioral psychology / Abstracts: Symposium on Mental Health of Citizens in Pacific Rim Nations, Kuala Lumpur, Vol. 34, Suppl. 5. p. 107–109 [in English]*.

ABSTRACT

Chernyshova O., Stepanchuk O. Optimizing the design of road and railroad intersections

The article discusses the problems of crossing roads and railways in terms of safety and economic performance. Recommendations are given on the principles of making design decisions in the construction of transport interchanges at different levels and improving the level of railroad crossing arrangement.

Purpose. The purpose of the work is to investigate the safety conditions at level crossings at different sizes of train and vehicle traffic, as well as to develop recommendations on the feasibility of arranging interchanges at different levels, taking into account operational and economic indicators.

Methodology. Research methods: analysis of literature sources, statistical and experimental data on the impact of vehicle delays on operational and economic performance, and the level of crossing arrangement on safety indicators.

Results. The indicators that affect the level of safety of road-railroad intersections are considered. The impact of delays at railroad crossings on safety indicators, environmental indicators, additional costs for vehicle maintenance and pavement maintenance is investigated. A methodology for assessing the intersections that require vertical separation in the first place is proposed.

Scientific novelty. The article is the first to propose a comprehensive approach to assessing the effectiveness of the construction of interchanges at different levels at the intersection of roads with railways, taking into account safety, operational and economic indicators. The results are useful for planning the development of cities and highways.

Practical significance. The results of the work can be used to assess the level of safety of road-railroad intersections, as well as to predict economic losses from existing railroad crossings and the feasibility of building overpasses.

Keywords: railroad crossings, traffic safety, safety indicators, interchanges at different levels, economic efficiency, environmental performance, travel time, traffic size, road, railroad, intersection.

AUTHOR`S NOTE:

Chernyshova Oksana, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Air Transport Infrastructure, State University «Kyiv Aviation Institute», Kyiv, Ukraine, e-mail: oksana.chernyshova@npp.nau.edu.ua, orcid: 0000-0002-8132-2153

Stepanchuk Oleksandr, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at the Department of Computer Technologies in Construction, State University «Kyiv Aviation Institute», Kyiv, Ukraine, e-mail: oleksandr.stepanchuk@npp.nau.edu.ua, orcid: 0000-0002-2822-3471