

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

УДК 625.162-027.45

М. Б. КУРГАН^{1*}, Р. В. ІВАНОВ²

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

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

Особливості будівництва переїздів при застосуванні суміщеної колії (1 520/1 435 мм) на мережі залізниць України

Мета. Обґрунтування та розробка технічних рішень для будівництва залізничних переїздів на суміщеній колії 1 520/1 435 мм з урахуванням сучасних технологій та вимог експлуатації на мережі залізниць України. Недостатність уніфікованих та оптимізованих рішень стримує темпи впровадження суміщеної колії на ключових ділянках мережі. Для вирішення цього завдання проведено аналіз існуючих світових та вітчизняних нормативних документів щодо будівництва переїздів на суміщеній колії; розглянуто та порівняні різні технологічні рішення та матеріали для переїзних настилів (гумово-кордні, залізобетонні, комбіновані), оцінено їхні експлуатаційні та економічні характеристики. **Методика.** Для вибору найбільш раціонального варіанту конструкції переїзного настилу у роботі використано методи системного аналізу, а також метод аналізу ієрархій (МАІ) для обґрунтування технічних рішень. Методика передбачає дослідження особливостей будівництва переїздів на суміщеній колії вибір оптимальних матеріалів та технологій, що здатні забезпечити безпеку, надійність та економічну ефективність для успішної інтеграції української залізниці до європейської системи. **Результати.** Проведено побудову ієрархії критеріїв, їх попарне порівняння, розрахунок вагових коефіцієнтів і комплексну оцінку альтернатив. Застосування МАІ дозволило визначити пріоритетність різних типів переїзних настилів за критеріями довговічності, вартості, стійкості до вібрації, шумопоглинання, складністю ремонту надати рекомендації щодо впровадження сучасних технологій будівництва переїздів на мережі залізниць України. **Наукова новизна.** В роботі вперше в рамках українських реалій проведено системний аналіз та оцінку ефективності сучасних типів переїзних настилів для суміщеної колії, включаючи використання МАІ для багатокритеріального вибору. **Практичне значення.** Результати роботи можуть бути використані технічними та проектними підрозділами Укрзалізниці при розробці та впровадженні проектів на ділянках із суміщеною колією, виробниками елементів верхньої будови колії для адаптації своєї продукції до сучасних вимог, проектними організаціями для обґрунтування вибору технологічних рішень.

Ключові слова: суміщена колія; залізничний переїзд; переїзний настил; метод аналізу ієрархій; Укрзалізниця; будівництво; експлуатаційна надійність

Вступ

В умовах глобалізації та поглиблення економічної інтеграції України до Європейського Союзу, залізничний транспорт відіграє критично важливу роль у забезпеченні ефективних логістичних ланцюгів. Ключовим стратегічним завданням для залізничної галузі України є гармонізація з європейською залізничною мережею, яка функціонує на стандартній ширині

колії 1 435 мм, тоді як українська мережа історично використовує ширину 1 520 мм.

Впровадження суміщеної колії є одним з найбільш раціональних та економічно вигідних шляхів вирішення цієї проблеми, оскільки дозволяє забезпечити безперервний рух рухомого складу обох стандартів без необхідності перевантаження вантажів або зміни візків на прикордонних переходах. Проте, впровадження суміщеної колії на існуючій мережі супрово-

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

джується низкою технологічних викликів, серед яких особливе місце посідає проблематика залізничних переїздів. Дослідження [4] зосереджене на процесах функціонування небезпечних транспортних об'єктів – залізничних переїздів з різною інтенсивністю та параметрами перевезення, які потребують вирішення широкого кола теоретичних, практичних та організаційних завдань. Переїзди є критично важливими елементами залізничної інфраструктури, що забезпечують перетин колії з автомобільною дорогою, і їхня конструкція на суміщеній колії перетворюється на «вузьке місце» всього проекту.

На відміну від одноколійної системи, де переїзний настил має лише два канали для реборд коліс, суміщена колія вимагає розміщення чотирьох рейок та формування відповідної системи жолобів. Це значно ускладнює конструкцію настилу, збільшує кількість стиків та вимагає високої точності при монтажі, щоб забезпечити безпечний прохід колісних пар обох типів. Неправильно спроектований або змонтований переїзд із суміщеною колією становить підвищений ризик як для залізничного, так і для автомобільного транспорту. Це вимагає використання передових, довговічних та зносостійких матеріалів, що забезпечують ідеально рівну поверхню.

Хоча в Україні вже є певний досвід улаштування суміщеної колії, існуючі технічні стандарти потребують оновлення та доповнення з урахуванням сучасних технологій, що довели свою ефективність у світі (наприклад, модульні системи з еластомерних матеріалів). Недостатність уніфікованих та оптимізованих рішень стримує темпи впровадження суміщеної колії на ключових ділянках мережі.

З огляду на вищезазначене, дослідження особливостей будівництва переїздів на суміщеній колії є відповідальним науково-практичним завданням. Вибір оптимальних матеріалів та технологій, що здатні забезпечити безпеку, надійність та економічну ефективність, є критично важливим для успішної інтеграції української залізниці до європейської системи.

Мета

Метою дослідження є обґрунтування та розроблення технічних рішень щодо будівництва залізничних переїздів на суміщеній колії 1 520/1 435 мм з урахуванням сучасних техно-

логій та експлуатаційних вимог на мережі залізниць України. Недостатність уніфікованих та оптимізованих конструктивних рішень наразі стримує темпи впровадження суміщеної колії на ключових напрямках залізничної інфраструктури.

Для досягнення поставленої мети проведено аналіз чинних вітчизняних та міжнародних нормативних документів, що регламентують будівництво переїздів на суміщеній колії. Розглянуто й порівняно різні типи переїзних настилів – гумово-кордні, залізобетонні та комбіновані, а також виконано оцінку їхніх експлуатаційних, технологічних і економічних характеристик.

Методика

При застосуванні суміщеної колії 1 520/1 435 мм на залізничних переїздах виникають технічні виклики, пов'язані з різною шириною колій та безпекою руху автотранспорту. Основні проблеми: різна відстань між рейками, що ускладнює конструкцію настилу переїзду; необхідність надійної роботи переїзного покриття при проїзді важкого автотранспорту; стабільність ізоляції колії для роботи сигналізації.

Методика передбачає дослідження особливостей будівництва переїздів на суміщеній колії, вибір оптимальних матеріалів та технологій, що здатні забезпечити безпеку, надійність та економічну ефективність для успішної інтеграції української залізниці до європейської системи. Для вибору найбільш раціонального варіанту конструкції переїзного настилу в роботі використано методи системного аналізу, а для обґрунтування технічних рішень – метод аналізу ієрархій (MAI).

Будівництво залізничних переїздів на суміщеній колії (1 520/1 435 мм) в умовах української залізничної мережі супроводжується низкою конструктивних, технологічних і експлуатаційних особливостей. Основна мета такого будівництва – забезпечення безпечного та ефективного перетину залізничних колій автомобільними шляхами, який передбачає рух поїздів двома типами колійної ширини (табл. 1).

АТ «Укрзалізниця» (УЗ) має намір побудувати двоколійну залізницю до кордону з Польщею. Це дозволить компанії запустити прямі поїзди з України до Європейського Союзу без заміни візків. 70-кілометровий маршрут буде

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

переобладнано зі звичайної ширококоліїної залізниці 1 520 міліметрів на двоколіїну лінію шляхом додавання паралельних колій для колії 1 435 мм (рис. 1) [11].



Рис. 1. Двоколіїна ділянка:
зліва – суміщена колія 1 520/1 435 мм)

Fig. 1. Double-track section:
on the left – dual-gauge track 1520/1435 mm

На окремих ділянках залізниць вже використовується суміщена колія (1 520/1 435 мм). Наприклад, на станції Мостиська 1 є комбінована колія, що дозволяє обробляти пасажирські та вантажні поїзди, що рухаються з Польщі без заміни візків. Після проходження прикордонного переходу Мостиська – Медика та в'їзду до Польщі використовуються існуючі лінії з шириною колії 1 435 мм. Довжина суміщених колій на ділянці Хирів–Нижанковичі становить близько 24 км [8].

Таблиця 1

Конструктивні, технологічні і експлуатаційні особливості будівництва залізничних переїздів на суміщеній колії (1 520/1 435 мм)

Table 1

Structural, technological and operational features of railway level crossing construction on dual-gauge track (1520/1435 mm)

1. Конструктивні особливості
1.1 Тип рейкової решітки: для суміщеної колії на переїздах використовуються спеціальні конструкції, які дозволяють укласти чотири рейкові нитки, забезпечуючи стабільну ширину обох колій – 1 520 мм і 1 435 мм.
1.2 Колія: потрібно передбачити підвищені вимоги до геометричної точності укладання рейок, особливо в зоні переїзного настилу, де відбувається перетин із автодорогами.
1.3 Настил переїзду: використовуються модульні переїзні настили, які сумісні з багаторейковими системами, наприклад, гумово-кордні або залізобетонні плити з фрезерованими каналами для розміщення рейок на різній ширині.
2. Технологічні особливості будівництва
2.1 Підготовчі роботи: через ускладнення конструкції на суміщеній колії передбачається реконструкція земляного полотна з урахуванням нових габаритів і дренажу.
2.2 Укладання рейок: застосовується кріплення типу «FASTCLIP», «W14» або аналогічні, які мають бути адаптовані для суміщеної конфігурації колії.
2.3 Сигналізація і автоматика: необхідно переобладнати пристрої переїзної сигналізації для виявлення поїздів, що рухаються по колії 1 520 і 1 435 мм.
3. Експлуатаційні особливості
3.1 Деформації та знос: через складну геометрію і збільшене навантаження на окремі елементи (особливо на внутрішню рейку) зростають ризики зносу і потреба у частішому технічному обслуговуванні.

3.2 Обмеження швидкості: для руху поїздів по переїздах суміщеної колії можуть тимчасово вводитися обмеження швидкості.

3.3 Безпека руху: рівень безпеки зростає за рахунок застосування активних систем оповіщення водіїв автомобілів, встановлення шлагбаумів із покращеним приводом, а також додаткових огорожень.

4. Нормативне та правове забезпечення

4.1 В Україні застосовуються при проектуванні переїздів із суміщеною колією адаптовані положення з ДБН В.2.3–19:2018 та стандарт Укрзалізниці СТП 02.01–002:2023, а також досвід європейських країн, де аналогічні об'єкти вже впроваджено.

Традиційні технології будівництва, такі як асфальтування або укладання дерев'яного настилу, є неефективними для багаторейкових систем, оскільки не можуть забезпечити необхідну точність та довговічність. Це призводить до високих експлуатаційних витрат, частих ремонтів і, як наслідок, до необхідності закриття переїзду, що створює значні незручності для автомобільного руху.

Серед питань, що стосуються конструктивних особливостей, розглянемо основні підходи до облаштування переїздів на суміщеній колії. В багатьох країнах використовуються модульні переїзні настили, які сумісні з багаторейковими системами, наприклад, з еластомерних плит, таких як ГВР, STRAIL або комбіновані системи «гума+бетон», гумово-кордні або залізобетонні плити з фрезерованими каналами для розміщення рейок на різній ширині. (п. 1.3, табл. 1).

Гумові рішення та компоненти для залізничних переїздів – це перевірена елементна система, яка використовується по всій Європі [9]. Підходить як для пішоходів з невеликим рухом, так і для інтенсивного руху транспорту (рис. 2).



Рис. 2. Система гумових плит на переїзді

Fig. 2. Rubber slab system at the level crossing

Для поширення сучасних практик та вимог щодо розробки інженерних рішень для переїздів між автомагістралями та залізницями використовується «Довідник з переїздів» [6].

Так, переїзні настили STRAIL (Німеччина) широко використовуються на залізничних переїздах із суміщеною колією (1 520/1 435 мм). Мають високу довговічність, зменшують шум та вібрації, але дорожчі у виробництві. Наведена на рис. 3 модульна система STRAIL складається з окремих суцільних гумових панелей, які з'єднані між собою за допомогою герметичної замкової системи, підходить для будь-якого типу рейок та шпал, забезпечує тривалий термін служби, швидко та легко встановлення та видалення.



Рис. 3. Система залізничних переїздів STRAIL

Fig. 3. STRAIL railway level crossing system

Переїзди з еластомерних плит – спеціальні конструкції залізничних переїздів представлено в роботі [10] (рис. 4).

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

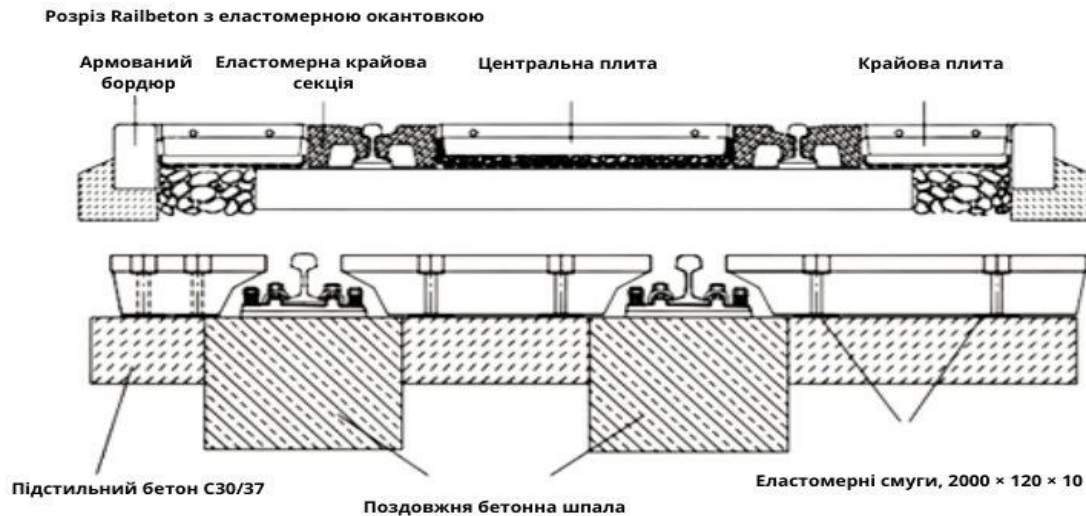


Рис. 4. Еластомерна крайова секція переїзду

Fig. 4. Elastomer edge section of the level crossing

В журналі [5] представлена інтелектуальна система, що інтегрує модулі, які мають особливе значення для безпеки залізничних переїздів.

Підводячи підсумки короткого огляду конструкцій переїздів, слід зазначити, що на залізницях широко застосовуються сучасні системи покриття залізничних переїздів, які складаються з окремих готових елементів (модулів), що укладаються між рейками, збоку від них та на підходах до переїзду. Вони прийшли на зміну традиційним асфальтобетонним або дерев'яним настилам. Як правило, такі настили виготовляються з гумово-кордних або залізобетонних матеріалів. Основні переваги модульності:

- швидкість монтажу: модулі виготовляються на заводі, що значно прискорює укладання їх на місці;
- висока якість: заводське виробництво забезпечує точність розмірів та якість матеріалів;
- довговічність: використання міцних матеріалів, стійких до навантажень та атмосферних впливів;
- легкість заміни: у разі пошкодження замінюється лише пошкоджений модуль, а не весь настил;
- зниження шуму та вібрації: гумові компоненти, зокрема, можуть зменшувати шум від проїзду автомобілів.

Для переїздів на суміщеній колії, де потрібна висока точність і складні форми вирізів, виробництво як гумових, так і залізобетонних

плит буде складнішим і, відповідно, дорожчим, ніж для стандартних переїздів. Вибір залежить від конкретних вимог проєкту, інтенсивності руху, бюджету та пріоритетів (наприклад, чи важливіший комфорт для пасажирів автотранспорту, чи довговічність переїзного настилу).

Вартість та довговічність різних типів переїзних настилів залежать від багатьох факторів (виробник, конкретна модифікація, інтенсивність руху, умови експлуатації, якість монтажу тощо) (табл. 2).

Як випливає з аналізу табл. 2, проблематика залізничних переїздів на суміщеній колії проявляється в необхідності урахування різноманітних, інколи суперечливих вимог: конструктивна складність, вимоги до безпеки, експлуатаційні вимоги, вартість, відсутність універсальних рішень. Вибір оптимальних матеріалів та технологій, що здатні забезпечити безпеку, надійність та економічну ефективність, є критично важливим для успішної інтеграції української залізниці до європейської системи. Для вирішення такого науково-практичного завдання в роботі застосовано МАІ, який дозволяє систематизувати складні рішення, що включають багато критеріїв, і застосувати бальну оцінку для вибору найкращої альтернативи.

Відповідно до табл. 2 метою дослідження є вибір оптимального типу покриття залізничного переїзду. Критеріями будуть «характеристики» з таблиці: довговічність, початкова вар-

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

тість, вартість монтажу, стійкість до вібрації/удару, шумопоглинання, комфорт проїзду авто, складність ремонту. Альтернативами ви-

ступають «види плит»: гумово-кордні плити, залізобетонні плити, еластомерні плити і комбіновані системи (табл. 3).

Таблиця 2

Узагальнене співвідношення різних типів переїзних настилів

Table 2

General correlation of different types of level crossing decks

Характеристика	Гумово-кордні плити (суцільно-гумові)	Залізобетонні плити (монолітні/збірні)	Еластомерні плити (наприклад, STRAIL, ГВР)	Комбіновані системи (гума+бетон)
Матеріал	Високоміцна гума, армована кордом	Залізобетон	Спеціальні еластомерні суміші	Залізобетонна основа + гумовий/полімерний верхній шар
Довговічність (років)	10...20	20...40+	15...25+	20...30+ (верхній шар може вимагати заміни раніше)
Початкова вартість (матеріал/м²)	Вища (порівняно з ЗБ)	Середня/Нижча	Вища (часто найвища)	Вища (може конкурувати з еластомерними)
Вартість монтажу	Нижча (легкі)	Вища (важкі, потрібен кран)	Нижча (модульна, легка)	Середня/Вища (залежить від ваги модулів)
Стійкість до вібрації/удару	Дуже висока	Середня/Нижча (жорсткі, схильні до тріщин)	Дуже висока	Висока (гумовий шар амортизує)
Шумопоглинання	Дуже висока	Нижча	Дуже висока	Висока (гумовий шар поглинає)
Комфорт проїзду авто	Високий (рівна, еластична поверхня)	Середній (жорсткий, можливі нерівності)	Високий	Високий
Складність ремонту	Простий (заміна модуля)	Складний (бетонування, демонтаж)	Простий (заміна модуля)	Заміна верхнього шару/модуля, основа довговічна
Вага модулів	Легкі	Дуже важкі	Легкі	Важчі за чисту гуму, легші за чистий бетон
Адаптація для суміщеної колії	Дуже добре (точне фрезерування каналів)	Добре (складне відливання/фрезерування)	Відмінно (розроблені для складних конфігурацій)	Добре/Відмінно (комбінація міцності та точності)

Таблиця 3

Критерії й альтернативи й для вибору типу покриття залізничного переїзду

Table 3

Criteria and alternatives for selecting the type of railway level crossing deck

Критерії		Альтернативи	
K1	Довговічність	A1	Гумово-кордні плити
K2	Початкова вартість	A2	Залізобетонні плити
K3	Вартість монтажу	A3	Еластомерні плити (STRAIL, ГВР)
K4	Стійкість до вібрації/удару	A4	Комбіновані системи («гумка+бетон»)
K5	Шумопоглинання		
K6	Комфорт проїзду авто		
K7	Складність ремонту		

Результати

Для досягнення поставленої мети розглянуто й порівняно різні типи переїзних настилів, а також виконано оцінку їхніх експлуатаційних, технологічних і економічних характеристик.

Використання МАІ дозволяє враховувати співвідношення різних типів переїзних настилів (табл. 2). Виконання розрахунків передбачає таку послідовність:

1. Визначення мети – вибір оптимального типу покриття залізничного переїзду.

2. Визначення критеріїв – це «характеристики» з табл. 2: довговічність, початкова вартість, вартість монтажу, стійкість до вібрації/удару, шумопоглинання, комфорт проїзду авто, складність ремонту

3. Визначення альтернатив – це види плит: гумово-кордні плити, залізобетонні плити, еластомерні плити, комбіновані системи

4. Побудова ієрархії. При побудові ієрархій враховано такі три рівні:

1) верхній рівень – вибір оптимального покриття;

2) середній рівень – критерії (довговічність, вартість, стійкість, тощо);

3) нижній рівень – альтернативи (гумово-кордні, залізобетонні тощо).

5. Попарне порівняння критеріїв. Необхідно порівняти кожен критерій з кожним іншим за шкалою МАІ, щоб визначити їхню вагомість (важливість). При цьому керуємося чітко ви-

значеною шкалою інтенсивності важливості (шкалою Сааті), що допомагає перевести суб'єктивні судження експерта у кількісні значення. Шкала має такі основні рівні:

1 – рівна важливість (два критерії мають однакове значення);

3 – помірна перевага (один критерій помірно важливіший за інший);

5 – сильна перевага (один критерій сильно важливіший за інший);

7 – дуже сильна перевага (один критерій дуже сильно важливіший за інший);

9 – абсолютна перевага (один критерій абсолютно важливіший за інший).

2, 4, 6, 8 – проміжні значення, що використовуються для тоншої градації. Зворотні значення (1/3, 1/5 і т. д.) використовуються, якщо порівняння йде у зворотному порядку.

6. Попарне порівняння альтернатив за кожним критерієм. Порівнюємо кожну альтернативу з іншою, але вже в межах кожного окремого критерію. Наведемо приклад порівняння за критерієм «Довговічність» (табл. 4). Експертні судження:

– залізобетонні плити (A2) є сильно довговічнішими, ніж гумово-кордні (A1) → 5;

– залізобетонні (A2) є помірно довговічнішими, ніж комбіновані (A4) → 3;

– комбіновані системи (A4) є помірно довговічнішими, ніж еластомерні (A3) → 3;

– еластомерні (A3) є помірно довговічнішими, ніж гумово-кордні (A1) → 3;

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

- залізобетонні (A2) є дуже сильно довговічнішими, ніж еластомерні (A3) $\rightarrow 7$;
- комбіновані (A4) є помірно довговічнішими, ніж гумово-кордні (A1) $\rightarrow 3$.

Цей процес повторюється для всіх критеріїв.

7. Синтез результатів. Обчислюємо загальний пріоритет для кожної альтернативи. Це робиться шляхом множення вектора вагомості критеріїв на матрицю пріоритетів альтернатив.

Результатом буде єдиний вектор, де кожна альтернатива отримає свій загальний бал. Альтернатива з найвищим балом буде вважатися найбільш оптимальним рішенням.

Докладний опис використання МАІ при вирішенні різних завдань розглянуто в роботах авторів [2, 7]. Тому в цій статті зупинимося на аналізі остаточних результатів.

Таблиця 4

Матриця попарних порівнянь за критерієм «Довговічність»

Table 4

Pairwise comparison matrix by the criterion «Durability»

Альтернатива	A1 (Гума)	A2 (ЗБ)	A3 (Еластомер)	A4 (Комбіновані)
A1 (Гума)	1	1/5	1/3	1/3
A2 (ЗБ)	5	1	7	3
A3 (Еластомер)	3	1/7	1	1/3
A4 (Комбіновані)	3	1/3	3	1

Розрахунок локальних пріоритетів (ваг) виконується за методом геометричного середнього. Геометричне середнє є найбільш відповідним і широко прийнятим методом для розрахунку локальних пріоритетів у методі аналізу ієрархій. Воно дозволяє коректно перевести суб'єктивні судження про відносні переваги в кількісні ваги, зберігаючи при цьому логіку попарних порівнянь.

Покажемо на прикладі розрахунку середнього геометричного (ГС) для першого рядка (табл. 4):

$$ГС \text{ для } A1 = \sqrt[4]{1 \cdot \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{3}} = \sqrt[4]{\frac{1}{45}} \approx 0,386$$

Аналогічно розраховані показники ГС для інших альтернатив:

$$ГС \text{ для } A2 = \sqrt[4]{5 \cdot 1 \cdot 7 \cdot 3} = \sqrt[4]{105} \approx 3,201$$

$$ГС \text{ для } A3 = \sqrt[4]{3 \cdot \frac{1}{7} \cdot 1 \cdot \frac{1}{3}} = \sqrt[4]{\frac{1}{7}} \approx 0,615$$

$$ГС \text{ для } A4 = \sqrt[4]{3 \cdot \frac{1}{3} \cdot 3 \cdot 1} = \sqrt[4]{3} \approx 1,316$$

Сума ГС: $0,386 + 3,201 + 0,615 + 1,316 = 5,518$.

Нормалізовані ваги (Локальні пріоритети):

A1 (Гума): $0,386/5,518 \approx 0,070$;

A2 (ЗБ): $3,201/5,518 \approx 0,580$;

A3 (Еластомер): $0,615/5,518 \approx 0,111$;

A4 (Комбіновані): $1,316/5,518 \approx 0,238$.

Таким чином, за критерієм «Довговічність» залізобетонні плити (A2) є абсолютним лідером, що відповідає попереднім висновкам.

Для оцінки особливостей будівництва переїзду на мережі залізниць України при застосуванні суміщеної колії (1 520/1 435 мм) необхідний мультидисциплінарний підхід. Критично важливими для достовірності та об'єктивності результатів будь-якого експертного оцінювання є правильний підбір складу експертів. Існують рекомендації та найкращі практики щодо оптимальної кількості експертів та їхнього фахового складу. Щоб уникнути суб'єктивного впливу однієї особи, зазвичай рекомендується не менше 3–5 експертів. Найчастіше вважається, що оптимальна кількість експертів становить від 7 до 15 осіб. У цій межі група є достатньо пред-

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

ставницькою для охоплення різних точок зору, але ще не настільки великою, щоб ускладнити процес взаємодії чи досягнення консенсусу.

У випадку проведення цього дослідження експерти мають представляти різні галузі та мати глибокі знання у відповідних сферах (табл. 5).

Таблиця 5

Фаховий склад експертів для отримання достовірних і об'єктивних результатів у методі аналізу ієрархій (MAI)

Table 5

Professional composition of experts for obtaining reliable and objective results in the Analytic Hierarchy Process (AHP)

Експерти, що представляють різні галузі	Спеціалізація	Значення
1. Залізничні колійники (Інженери колії):	Проектування, будівництво, утримання та експлуатація залізничної колії, верхньої будови колії, зокрема стрілочних переводів, переїздів.	Розуміють специфіку навантажень, взаємодії колесо-рейка, вимоги до геометрії колії, особливості роботи на переїздах. Вони можуть оцінити довговічність, стійкість до вібрацій, ремонтно-придатність різних конструкцій.
2. Фахівці з будівництва та проектування інфраструктури (Цивільні інженери, що спеціалізуються на дорогах та мостах):	Проектування та будівництво автомобільних доріг, асфальтобетонних покриттів, конструкцій переїздів, дренажних систем.	Можуть оцінити комфорт проїзду автомобілів, стійкість настилу до дорожнього руху, питання дренажу та інтеграції з дорожнім полотном.
3. Фахівці з експлуатації та утримання залізниць:	Щоденна експлуатація залізничних ділянок, планування «вікон», організація ремонтних робіт, управління витратами на утримання.	Нададуть цінну інформацію про реальну вартість монтажу (враховуючи час простою, необхідність техніки), складність ремонту, а також про вплив різних типів настилів на поточні експлуатаційні витрати.
4. Спеціалісти з безпеки руху поїздів та автомобільного транспорту:	Аналіз ризиків, розробка стандартів безпеки, розслідування інцидентів.	Можуть оцінити рівень безпеки, який забезпечує той чи інший тип настилу, особливо на суміщеній колії, де є ускладнюючі фактори.
5. Економісти / Фахівці з закупівель (для інфраструктурних проєктів):	Аналіз витрат-вигод, розрахунок життєвого циклу проєкту, вартість матеріалів, логістика.	Допоможуть з об'єктивною оцінкою початкової вартості матеріалів, вартості монтажу, а також довгострокових економічних показників.

Завдання фасилітатора, який проводить сесію з MAI, допомогти експерту чітко визначити ступінь переваги одного критерію над іншим, використовуючи точні формулювання шкали Сааті, щоб уникнути суб'єктивності та забезпе-

чити узгодженість суджень. В рамках аналізу переїзних настилів експерти визначили такі глобальні ваги критеріїв (табл. 6), що дало можливість отримати порівняння для різних варіантів (табл. 7).

Таблиця 6

Варіанти глобальної ваги критеріїв

Table 6

Variants of the global weight of criteria

Критерій	Вага (глобальний пріоритет)		
	1-й варіант	2-й варіант	3-й варіант
Довговічність	0,40	0,05	0,25
Вартість монтажу	0,15	0,35	0,20
Стійкість до вібрації	0,20	0,05	0,15
Шумопоглинання	0,10	0,05	0,10
Комфорт проїзду авто	0,10	0,10	0,15
Складність ремонту	0,05	0,40	0,15
Сума	1,00	1,00	1,00

Таблиця 7

Підсумкове порівняння трьох варіантів

Table 7

Final comparison of three options

Варіант	Пріоритети	1-е місце	2-е місце	3-е місце	4-е місце
Варіант 1	Важлива «Довговічність»	Еластомер (0,288)	Залізобетон (0,284)	Гума (0,241)	Комбіновані (0,188)
Варіант 2	Важливі «Монтаж/Ремонт»	Еластомер (0,398)	Гума (0,362)	Комбіновані (0,165)	Залізобетон (0,076)
Варіант 3	Збалансований	Еластомер (0,340)	Гума (0,280)	Залізобетон (0,195)	Комбіновані (0,185)

Висновок на основі даних табл. 7. Альтернатива А3 (Еластомерні плити) демонструє виняткову стійкість і стабільність лідерства незалежно від зміни пріоритетів. У всіх трьох сценаріях вона займає перше місце. Це свідчить про те, що цей варіант є найбільш універсальним та оптимальним, оскільки його переваги (комфорт, низький рівень шуму, простота монтажу/ремонту) є достатньо вагомими, щоб переважати навіть тоді, коли інші критерії (як-от довговічність) отримують високу вагу.

Альтернатива А1 (Гумово-кордні плити) є сильним «другим» номером. Вона посідає друге місце в двох з трьох варіантів, що робить її дуже надійною альтернативою.

Альтернатива А2 (Залізобетонні плити) посідає друге місце лише в першому сценарії, де «Довговічність» є найважливішим критерієм.

Це підтверджує, що цей варіант є цільовим і буде оптимальним лише за дуже специфічних умов, де вага інших критеріїв є низькою.

Проведений аналіз ієрархій показав, що для переїзду на суміщеній колії вибір типу настилу не є очевидним. Однак, використовуючи структурований підхід та аналізуючи різні сценарії, можна з високою ймовірністю визначити найбільш оптимальне рішення.

Дніпровське науково-конструкторське технологічне бюро колійного господарства» філії «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця» розробляє стандарт і конструкцію переїздів з універсальним залізобетонним настилом через залізничні колії з рейками типу Р65 та UIC60. Стандарт застосовують при проектуванні переїзду з універсальним залізобетонним настилом через заліз-

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

ничні колії, його поточному утриманні та ремонті.

Переїзний настил складається з окремих залізобетонних плит та балок, виробів

комплектуючих, шпал мостових під плити переїзду та рейкової колії з роздільним клемно-болтовим скріпленням типу КБ. В шпалах вбудовані дюбелі виготовлені із поліетилену низького тиску для прикріплення за допомогою шурупів плит переїзного та пішохідного настилів до шпал (рис. 5).

Роботи з улаштування переїзного настилу виконуються в два етапи: підготовчий та основний. Основні роботи виконуються у «вікно» згідно з вимогами ЦП-0273, а саме: демонтаж рейко-шпальної решітки існуючого переїзду, укладання рейко-шпальної решітки зі шпалами мостовими під плити універсального переїзду, виправлення колії у плані та профілі, укладання та закріплення плит і балок універсального переїзного настилу, встановлення комплектуючих виробів.

Настил сучасного залізничного переїзду як правило складається з трьох рядів залізобетонних плит. Для двоколіїної ділянки кожен ряд

має шість плит, які укладаються до і після рейки і мають обпирання з жорстким кріпленням до залізобетонної шпали спеціальної конструкції. По довжині колії кожна плита прикріплена до п'яти шпал.

В цій роботі розглядаються питання будівництва переїздів на ділянках як нової траси європейської колії 1 435 мм, так і реконструкції окремих напрямків під євростандарт з застосуванням суміщеної колії (1 520/1 435 мм).

Стандарт підприємства Укрзалізниці СТП 02.01–002:2023 та креслення є цінним джерелом інформації, оскільки він показує, як Укрзалізниця вирішує питання суміщеної колії на практиці. Чинний стандарт СТП 02.01–002:2023 містить перевірені та затверджені технічні рішення, які відповідають вимогам безпеки, експлуатації та обслуговування на українській залізничній мережі [3]. Цей стандарт враховує особливості української колії 1 520 мм та її суміщення з 1 435 мм, а також місцеві умови експлуатації. Такий підхід включає адаптацію до українських типів шпал, скріплень, навантажень та кліматичних умов [1].

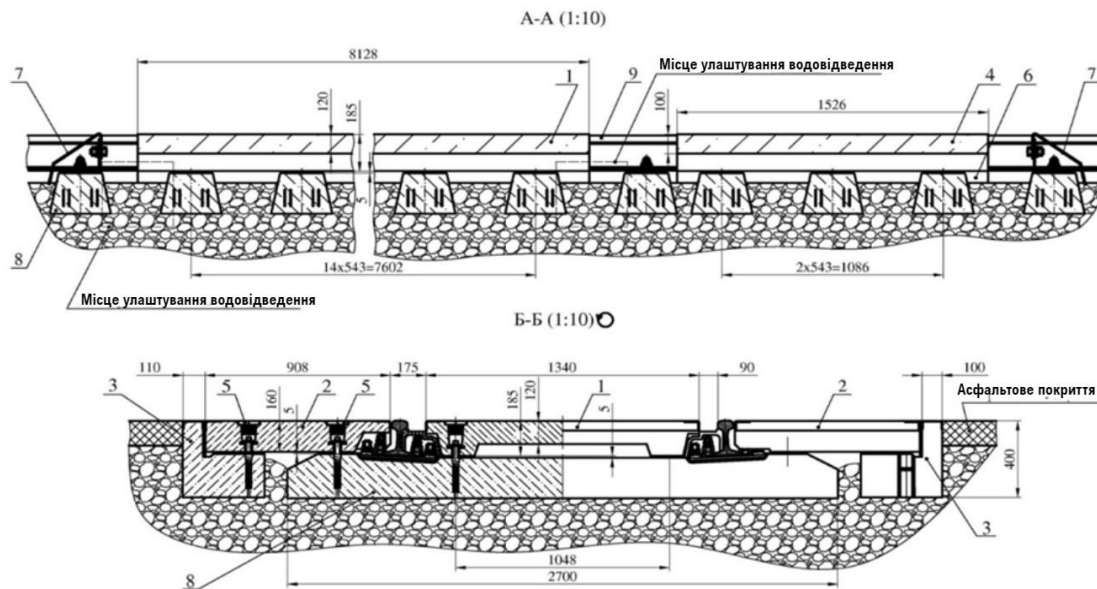


Рис. 5. Схеми поперечних перерізів універсального переїзного настилу на одноколіїній ділянці з рейками типу UIC60:

1 – плита внутрішня ПВу; 2 – плита зовнішня ПЗу; 3 – балка фундаментна БФу; 4 – плита внутрішня пішохідного настилу ПпВу; 5 – заглушка типу ЗШ; 6 – балка фундаментна БФпу; 7 – відбійник типу ВП; 8 – шпала мостова під плити переїзду; 9 – рейка типу UIC60

Fig. 5. Cross-sectional schemes of a universal level crossing deck on a single-track section with UIC60 rails:

1 – inner slab (PVu); 2 – outer slab (PZu); 3 – foundation beam (BFu); 4 – inner pedestrian slab (PpVu); 5 – plug type (ZSh); 6 – foundation beam (BFpu); 7 – bumper type (VP); 8 – bridge sleeper under crossing slabs; 9 – UIC60 rail

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

На кресленні (рис. 6) наведені конкретні розміри та конструктивні елементи (залізобетонні плити, металеві листи, дерев'яні

бруси, адаптація кріплень), що є надзвичайно важливим для практичного проектування.

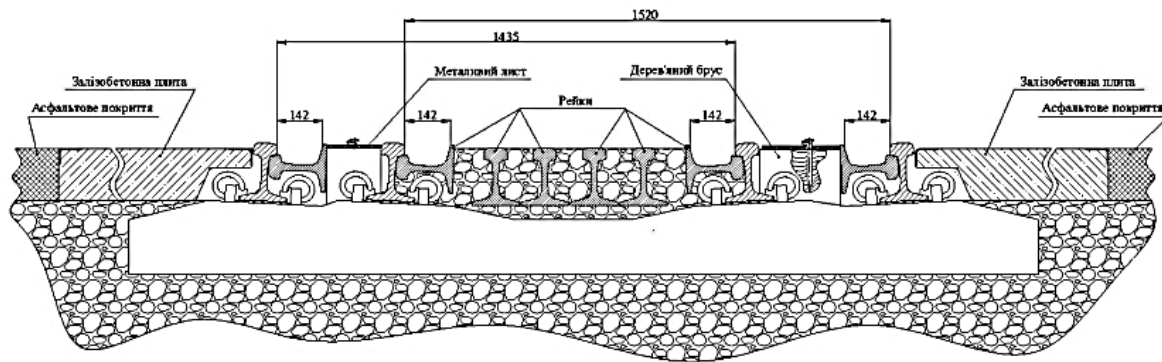


Рис. 6. Приклад облаштування залізничного переїзду на суміщеній колії

Fig. 6. Example of railway level crossing arrangement on a dual-gauge track

Виникає питання: чи існують кращі варіанти? «Кращі» варіанти – це відносне поняття, яке залежить від конкретних критеріїв оптимізації (вартість, довговічність, швидкість монтажу, рівень шуму, обслуговування тощо). На рис. 5 показані залізобетонні плити, але, як було показано раніше, існують також гумово-кордні модульні настили, застосування яких забезпечує:

- швидший монтаж завдяки меншій вазі та спрощеному кріпленню;
- менший шум та вібрацію із-за кращої амортизаційної властивості гуми;
- кращий комфорт для автомобілів – більш еластична поверхня.

До недоліків слід віднести вищу початкову вартість матеріалу та потенційно менший термін служби (хоча це компенсується легкістю заміни секцій).

Приклад Укрзалізниці в СТП 02.01–002:2023 є надійною та прийнятною основою для проектування переїздів на суміщеній колії в Україні. Він відображає поточні стандарти та підходи. «Кращі» варіанти будуть стосуватися, скоріше, оптимізації та вибору конкретних матеріалів та технологій, а не принципової схеми чотирьох рейок. Застосування гумово-кордних плит може бути «кращим» у певних умовах, наприклад, у міській забудові, де важливий рівень шуму, або на ділянках з дуже інтенсивним

автомобільним рухом, де швидкість монтажу є критичною.

Вибір між залізобетонними та гумово-кордними настилами, а також між різними типами скріплень, має бути зроблений на основі детального техніко-економічного аналізу конкретного проекту, враховуючи інтенсивність руху, бюджет, доступність матеріалів та вимоги до подальшого обслуговування.

Наукова новизна та практичне значення

У роботі вперше в українській практиці проведено системний аналіз ефективності сучасних типів переїзних настилів для суміщеної колії з використанням методу аналізу ієрархій (MAI) для багатокритеріального вибору оптимального рішення. Застосування MAI дало змогу визначити пріоритетність конструкцій переїзних настилів за такими критеріями, як довговічність, вартість, стійкість до вібрацій, шумопоглинання та складність обслуговування.

Отримані результати дозволяють сформулювати науково обґрунтовані рекомендації щодо впровадження сучасних технологій будівництва переїздів на ділянках залізниць із суміщеною колією. Розроблені положення можуть бути використані:

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

– технічними та проєктними підрозділами АТ «Укрзалізниця» при реалізації інфраструктурних проєктів;

– виробниками елементів верхньої будови колії для адаптації конструкцій до вимог суміщеної колії;

– проєктними організаціями для обґрунтування вибору технологічних рішень при новому будівництві та реконструкції переїздів.

Висновки

Ключовим стратегічним завданням розвитку залізничної галузі України є гармонізація з європейською залізничною мережею, яка функціонує на стандартній ширині колії 1 435 мм, тоді як українська мережа історично побудована на ширині 1 520 мм. Впровадження суміщеної колії є одним із найраціональніших та економічно доцільних шляхів вирішення цього завдання, оскільки забезпечує безперервний рух рухомого складу обох стандартів без необхідності перевантаження вантажів або заміни візків на прикордонних переходах.

Разом із тим, реалізація проєктів суміщеної колії на існуючій інфраструктурі супроводжується низкою технологічних викликів, серед яких особливу складність становить будівництво

та експлуатація залізничних переїздів. Переїзди є критично важливими елементами інфраструктури, що забезпечують перетин залізниці з автомобільними дорогами, а на ділянках суміщеної колії вони перетворюються на потенційні «вузькі місця» всього проєкту.

Суміщена колія на переїздах – технічно складне, проте вирішуване завдання. Найперспективнішими напрямками розвитку є застосування еластомерних настилів, роздільних покриттів та інтегрованих автоматизованих систем сигналізації. У перспективі, з огляду на розвиток високошвидкісного руху, доцільним є поступове усунення переїздів шляхом заміни їх на різнорівневі перетини.

У роботі вперше в українських умовах проведено системний аналіз ефективності сучасних типів переїзних настилів для суміщеної колії із застосуванням методу аналізу ієрархій (МАІ) для багатокритеріального вибору. Застосування цього методу дало змогу визначити пріоритетність конструкцій настилів за критеріями довговічності, вартості, стійкості до вібрацій, шумопоглинання та складності ремонту, а також розробити рекомендації щодо впровадження сучасних технологій будівництва переїздів на мережі залізниць України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.3-20:2025. Залізничні колії 1435 мм. Норми проєктування. [Чинний від 2026-01-01]. Вид. офіц. Київ : М-во розвитку громад та територій України, 2025. 134 с.
2. Курган М. Б., Курган Д. М., Лужицький О. Ф., Гусак М. А., Байдак С. Ю. (2023). Оцінка варіантів дорожнього покриття на основі методу аналізу ієрархій. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*. 2023. № 24. С. 37–49. DOI: <https://doi.org/10.15802/bttrp2023/291856>
3. СТД 02.01-002:2023. Залізничні колії. Улаштування й утримання колії шириною 1435 мм та суміщеної залізничної колії (1520 і 1435 мм). Київ : АТ «Українська залізниця», 2023. 50 с.
4. Fischer S., Kurhan M., Kurhan D. (2024). Innovative Technologies and Cognitive Factors for Enhancing Safety of Train and Car Movement at Level Crossings. *Proceedings of the 3rd Cognitive Mobility Conference (COGMOB 2024)*. 2024. P. 1–13. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-81799-1_1
5. Hejczyk T. Smart system integrating modules with particular significance for rail crossings safety. *Archives of Transport System Telematics. Academia.edu*. 2024. URL: https://www.academia.edu/120267471/Smart_system_integrating_modules_with_particular_significance_for_rail_crossings_safety.
6. *Highway-Rail Crossing Handbook* : Handbook. 3rd ed. Washington : Federal Highway Administration (FHWA), 2022. 270 p. URL: <https://highways.dot.gov/sites/fhwa.dot.gov/files/2022-06/fhwas18040v2.pdf>.
7. Kurhan M., Kurhan D., Baidak S., Khmelevskyi V. The analytic hierarchy process as a cognitive tool for evaluating switch components. *Cognitive Sustainability*. 2025. Vol. 4, № 3. DOI: <https://doi.org/10.55343/cogsust.20523>
8. *Raport: Polsko-ukraińskie relacje kolejowe*. ver. 2.1. 2022. 182 p. URL: <https://rbf.net.pl/wp-content/uploads/2022/11/Raport-polsko-ukraińskie-relacje-kolejowe-ver-2.1.pdf>

9. TEKNICROSS® rubber level crossing elements. *Teknikum*. URL: <https://technikum.com/products-brands/technikum-teknicross-rubber-level-crossings-for-railways/>
10. Track Covers Level Crossings. *Railbeton haas*. URL: https://www.railbeton.de/login/file/?f=csdata/download/1/de/gleiseindeckung_eng0608_280
11. Zasiadko M. Ukraine plans dual gauge railway to EU. *Railtech.com*. 2019. URL: <https://www.railtech.com/infrastructure/2019/11/28/ukraine-plans-dual-gauge-railway-to-eu/>

M. B. KURHAN^{1*}, R. V. IVANOV²

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

²Dep. «Transport Infrastructure», Ukrainian State University of Science and Technologies, SEI DIIT, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 48, e-mail ivanovrodion@ukr.net, ORCID 0009-0005-9125-9468

Features of Level Crossing Construction with the Use of Dual Gauge (1520/1435 mm) on the Ukrainian Railway Network

Purpose. The purpose of the study is to justify and develop technical solutions for the construction of railway level crossings on dual gauge tracks (1520/1435 mm), taking into account modern technologies and operational requirements within the Ukrainian railway network. The lack of unified and optimized solutions hinders the pace of dual gauge implementation on key network segments. To address this issue, an analysis was conducted of existing international and domestic regulatory documents related to the construction of level crossings on dual gauge tracks. Various technological solutions and materials for level crossing decks (rubber-cord, reinforced concrete, and combined types) were examined and compared, with an assessment of their operational and economic characteristics. **Methodology.** To select the most rational design option for level crossing decks, the study employed methods of systems analysis as well as the Analytic Hierarchy Process (AHP) to substantiate technical decisions. The methodology involves examining the specific features of constructing crossings on dual gauge track, selecting optimal materials and technologies capable of ensuring safety, reliability, and cost-effectiveness for the successful integration of the Ukrainian railway into the European rail system. **Findings.** A hierarchy of criteria was developed, followed by pairwise comparisons, calculation of weight coefficients, and a comprehensive evaluation of alternatives. The application of AHP made it possible to determine the priority of different crossing deck types based on criteria such as durability, cost, vibration resistance, noise absorption, and maintenance complexity. Recommendations were provided for the implementation of modern level crossing construction technologies on the Ukrainian railway network. **Originality.** For the first time in the context of Ukraine, a systematic analysis and efficiency assessment of modern level crossing deck types for dual gauge was conducted. This includes the application of the AHP method for multi-criteria decision-making. **Practical value.** The results of this research can be used by the technical and design departments of Ukrzaliznytsia in developing and implementing projects on sections with dual gauge tracks, by track component manufacturers to adapt their products to modern requirements, and by design organizations in substantiating the selection of technological solutions.

Keywords: dual-gauge track; railway level crossing; crossing deck; Analytic Hierarchy Process (AHP); Ukrzaliznytsia; construction; operational reliability

REFERENCES

1. Zaliznytsi kolii 1435 mm. Normy proiektuvannia, 134 DBN V.2.3-20:2025. (2025). (in Ukrainian)
2. Kurhan, M. B., Kurhan, D. M., Luzhytskyi, O. F., Husak, M. A., & Baidak, S. Yu. (2023). Evaluation of pavement options based on the Analytic Hierarchy Process. *Bridges and Tunnels: Theory, Research, Practice*, (24), 37-49. DOI: <https://doi.org/10.15802/bttrp2023/291856> (in Ukrainian)
3. Zaliznychni kolii. Ulashtuvannia y utrymannia kolii shyrynoi 1435 mm ta sumishchenoi zaliznychnoi kolii (1520 i 1435 mm), 50 STP 02.01-002:2023. (2023). (in Ukrainian)
4. Fischer, S., Kurhan, M., & Kurhan, D. (2024). Innovative Technologies and Cognitive Factors for Enhancing Safety of Train and Car Movement at Level Crossings. *Proceedings of the 3rd Cognitive Mobility Conference (COGMOB 2024)*, 1-13. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-81799-1_1 (in English)
5. Hejczyk, T. (2024). Smart system integrating modules with particular significance for rail crossings safety. *Archives of Transport System Telematics. Academia.edu*. Retrieved from:

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

- https://www.academia.edu/120267471/Smart_system_integrating_modules_with_particular_significance_for_rail_crossings_safety (in English)
6. *Highway-Rail Crossing Handbook* : Handbook. 3rd ed. (2022). Washington : Federal Highway Administration (FHWA), 270. Retrieved from: <https://highways.dot.gov/sites/fhwa.dot.gov/files/2022-06/fhwasa18040v2.pdf> (in English)
 7. Kurhan, M., Kurhan, D., Baidak, S., & Khmelevskyi, V. (2025). The analytic hierarchy process as a cognitive tool for evaluating switch components. *Cognitive Sustainability*, 4(3). DOI: <https://doi.org/10.55343/cogsust.20523> (in English)
 8. Raport: Polsko-ukraińskie relacje kolejowe, ver. 2.1. (2022). Retrieved from: <https://rbf.net.pl/wp-content/uploads/2022/11/Raport-polsko-ukrainskie-relacje-kolejowe-ver-2.1.pdf> (in Polish)
 9. TEKNICROSS® rubber level crossing elements. *Teknikum*. Retrieved from: <https://technikum.com/products-brands/technikum-teknicross-rubber-level-crossings-for-railways/> (in English)
 10. Track Covers Level Crossings. *Railbeton haas*. Retrieved from: https://www.railbeton.de/login/file/?f=csdata/download/1/de/gleiseindeckung_eng0608_280 (in English)
 11. Zasiadko, M. (2019). Ukraine plans dual gauge railway to EU. *Railtech.com*. URL: <https://www.railtech.com/infrastructure/2019/11/28/ukraine-plans-dual-gauge-railway-to-eu/> (in English)

Надійшла до редколегії: 12.08.2025

Прийнята до друку: 19.12.2025