

ІНТЕГРАЦІЯ ЗАХИСНИХ УКРИТТІВ У ДОРОЖНЮ ІНФРАСТРУКТУРУ: СИСТЕМНИЙ ОГЛЯД МІЖНАРОДНОГО ДОСВІДУ

Кватадзе А.І., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, kvatadze_alina@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3320-3798

Стьожка В.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, styozhka@ukr.net, orcid.org/0000-0002-5039-9852

INTEGRATION OF PROTECTIVE SHELTERS INTO ROAD INFRASTRUCTURE: A SYSTEMATIC REVIEW OF INTERNATIONAL EXPERIENCE

Kvatadze A., PhD in Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, kvatadze_alina@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3320-3798

Styozhka V., PhD in Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, styozhka@ukr.net, orcid.org/0000-0002-5039-9852

Постановка проблеми. Враховуючи зростаючу вразливість міських територій до військових загроз, порушується питання інтеграції захисних укриттів у дорожню інфраструктуру. У статті здійснено огляд міжнародного досвіду щодо інженерних підходів та прикладів влаштування укриттів, розміщених під дорожньою конструкцією, зокрема у тунелях та підземних переходах. На основі міжнародного досвіду Норвегії, Швейцарії та інших країн проаналізовано ключові конструктивні рішення: SWETO (Shelter Without an exit leading to Escape routes To the Open (укриття без виходу, що веде до шляхів евакуації назовні)), бункери подвійного призначення та протирадіаційні укриття. Окрему увагу приділено проектним викликам і питанням економічної доцільності. Дослідження направлене на практичні орієнтири для імплементації таких рішень, особливо в умовах обмеженого доступу до метрополітену чи спеціалізованих захисних споруд, як у випадку України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Впровадження захисних споруд у транспортну інфраструктуру розглядається як потенційний інструмент підвищення рівня безпеки міського середовища в умовах воєнних загроз і надзвичайних ситуацій. У містах, де відсутня розгалужена система метрополітену або бракує захисних споруд цивільного призначення, питання використання наявної дорожньої інфраструктури, як об'єкта подвійного призначення, набуває практичного і безпекового значення. Одним з напрямів такого підходу є влаштування укриттів у конструкцію транспортних тунелів, сервісних галерей та підповерхневих просторів під дорожньою конструкцією [1,2,3].

Згідно з існуючими на теперішній час дослідженнями, низка країн реалізували проекти використання елементів транспортної інфраструктури з додатковою функцією захисту населення. Зокрема, у Швейцарії в тунелі Сонненберг реалізовано модель протирадіаційного бункера з подвійною функцією [4]. У Південній Кореї та Китаї аналізуються підходи до евакуації з дорожніх тунелів і функціонального зонування захисних просторів у межах транспортних коридорів [5,6].

Метою даної статті є огляд технічних рішень щодо укриттів в дорожній інфраструктурі, а також оцінка можливостей їх адаптації до середовищ із низькою щільністю підземного транспорту на основі міжнародного досвіду. Акцент зроблено на прикладних дослідженнях, актуальних для країн із підвищеним ризиком збройних конфліктів, зокрема України.

Викладення основного матеріалу дослідження. Огляд наукових джерел ґрунтується на зростаючому інтересі до теми подвійного призначення транспортних споруд (автомобільних доріг, дорожніх тунелів) у контексті цивільного захисту, а також на значущості впровадження укриттів для швидкої та доступнішої евакуації населення. Зокрема, в роботі [1] узагальнено технічні параметри однокамерних тунелів із вбудованими укриттями, зосереджена увага на системах вентиляції, евакуаційних маршрутах та нормах безпеки під час пожеж. Автори підкреслюють, що конструктивна інтеграція камер-ніш не суттєво зменшує пропускну здатність транспортного тунелю, однак вимагає ретельного техніко-економічного обґрунтування.

У зв'язку з вищезазначеним, укриття без виходу назовні (SWETO) виступає додатковим засобом підвищення функціональності інфраструктури: окрім стандартного забезпечення руху, вона дозволяє вбудувати в стінки тунелів або безпосередньо в дорожню конструкцію герметичні камери-ніші з вогнетривких матеріалів. За результатами норвезьких досліджень, товщина залізобетонних стінок 10 см забезпечує приблизно 50 хвилин термічної стійкості при сценарії пожежі потужністю 100 МВт, тоді як конструкції із товщиною стінок 15 см мають значний запас міцності. Це орієнтовні показники, що уточнюються під час проєктного моделювання для конкретних умов тунелю. Додаткову безпеку забезпечують бласт-двері з товстого сталевого каркасу з теплоізоляційним наповнювачем, який сповільнює нагрівання внутрішньої поверхні та підтримує прийнятні температурні умови всередині укриття. Такі камери оснащуються також

датчиками диму і токсичних газів, автоматизованими системами фільтрації повітря, а герметична конструкція дозволяє витримати як високотемпературні впливи, так і обмежене ударне навантаження. Завдяки відсутності виходу на поверхню, укриття можуть розташовуватися з інтервалом, визначеним за результатами аналізу ризиків та моделювання евакуації. Мінімальні вимоги ЄС, відповідно до Директиви 2004/54/EC [7], передбачають відстань не більше 500 м між аварійними виходами, тоді як у практиці проєктування в щільній міській забудові допускається скорочення цього інтервалу до близько 200-210 м за належного технічного обґрунтування.

В умовах воєнного стану в Україні SWETO не замінить традиційні громадські сховища, натомість може розглядатися як один із можливих варіантів розширення мережі захисних конструкцій уздовж тунелів і відкритих ділянок автомобільних доріг. Аналогічна технологія може бути адаптована до бордюрної частини доріг населених пунктів чи підземних переходів, що дає змогу водіям і пішоходам під час ракетних ударів або атак безпілотників оперативно дістатися до відносно безпечного простору. Такий підхід доповнить існуючі заходи цивільного захисту, забезпечуючи додаткову гнучкість і оперативність реагування без необхідності масштабного нового будівництва.

У дослідженнях, присвячених тунелям у Китайській Народній Республіці (КНР) [5], розглянуто проблеми евакуації в умовах високої задимленості, складної геометрії споруд і обмеженої кількості евакуаційних коридорів. Навіть за наявності зон тимчасового укриття ефективність їх використання залежить від поведінкових реакцій людей у стресі, рівня видимості та часу прийняття рішень. У роботі [8] наголошено, що дим істотно знижує швидкість руху людей, збільшує час орієнтації та підвищує ризик дезорієнтації. Отже, ефективність евакуації визначається не лише параметрами вентиляційних систем, а й просторовим розміщенням зон безпеки та візуальною доступністю маршрутів.

Аналіз поведінкових чинників у надзвичайних ситуаціях показує, що навіть за наявності чітко позначених маршрутів і належного технічного забезпечення людський фактор залишається вирішальним. Огляд пожеж у тунелях КНР [5] демонструє, що затримка з прийняттям рішень, порушення організованості руху, паніка та дезорієнтація є типовими реакціями в умовах обмеженого простору й низької видимості. Це підкреслює потребу у створенні локальних укриттів, розташованих безпосередньо в межах транспортної інфраструктури, де доступ до безпечної зони можливий упродовж кількох секунд без складної навігації чи переміщення на великі відстані.

У цьому контексті стає очевидною актуальність концепцій, що передбачають локальні укриття в межах дорожньої інфраструктури. Інтегровані у дорожній покрив модулі можуть бути доступні в межах кількох секунд без потреби у складній навігації чи фізичному переміщенні на

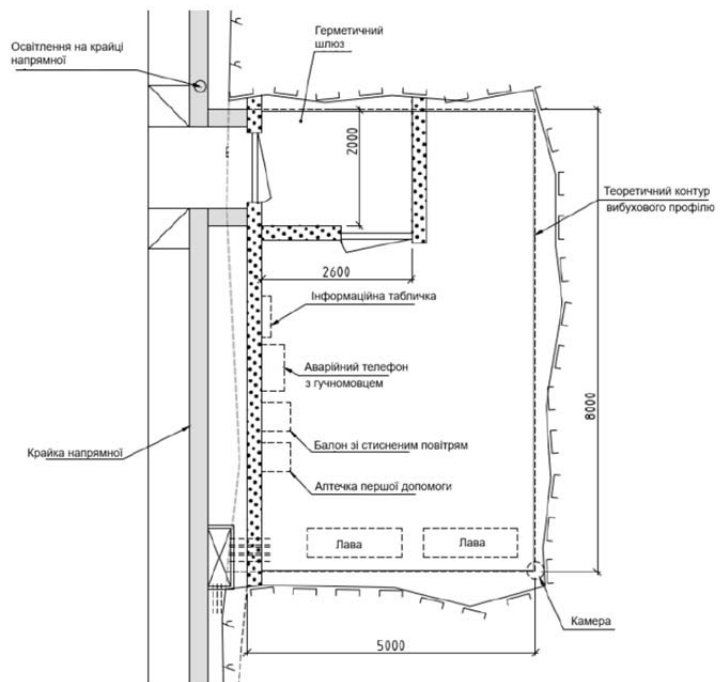


Рисунок 1 – Конструкція SWETO в тунелі Фройя [1]
Figure 1 – SWETO design in the Froya Tunnel [1]

великі відстані. Це забезпечує оперативний захист як для пішоходів, так і для водіїв у випадках раптових атак, техногенних катастроф або бойових дій. Відтак, аналіз поведінкових ризиків в умовах надзвичайних ситуацій підсилює аргументацію на користь впровадження таких рішень у критичних транспортних зонах.

Вдалим прикладом інфраструктури подвійного призначення є система тунелів Зонненберг у Швейцарії [4]. Побудований як дорожній тунель, цей об'єкт може бути оперативно переобладнаний у бункер, здатний вмістити понад 20 000 осіб. Система оснащена фільтраційними установками, водопостачанням, каналізацією та запасами продуктів і медикаментів, що забезпечує автономне функціонування протягом тривалого часу. Водночас, експлуатація такого комплексу потребує регулярного технічного обслуговування, перевірки інженерних систем і постійного оновлення ресурсів. Приклад Зонненберга демонструє як потенціал багатофункціональних рішень, так і виклики, пов'язані з їх довготривалою готовністю.

Узагальнення технічних, поведінкових і експлуатаційних чинників дозволяє обґрунтувати доцільність подальшого розвитку концепції локальних модульних укриттів, інтегрованих безпосередньо в дорожню конструкцію або бічні елементи міської інфраструктури. Такий підхід підвищує стійкість урбанізованих територій до раптових загроз, від повітряних атак і хімічних інцидентів до техногенних аварій, і водночас сприяє формуванню нової культури безпеки у міському плануванні.

Показовим у цьому контексті є досвід Південної Кореї [6], де поступово впроваджується інтеграція укриттів у транспортну інфраструктуру. У Сеулі функціонує понад 3000 захисних об'єктів, частина з яких розташована поруч із транспортними вузлами або безпосередньо інтегрована з ними, автомобільними тунелями, підземними переходами, багаторівневими перехрестями та пересадковими станціями [2]. Хоча більшість цих об'єктів не були спочатку спроектовані як захисні, їх подальша адаптація у відповідь на зростання ризиків свідчить про поступову зміну парадигми міського планування, у якій безпека населення стає органічним елементом транспортної логістики.

У країнах Південно-Східної Азії, зокрема в Сінгапурі, Тайвані та Малайзії, спостерігаються показові приклади інтеграції захисних споруд у багаторівневі транспортні вузли. Згідно з даними дослідження [6], у мегаполісах регіону активно розвиваються концепції комплексного зонування, де одна й та сама інфраструктурна одиниця виконує кілька функцій: транспортну, комерційну та захисну. Укриття інтегруються в підземні комунікації, вентиляційні шахти, пішохідні галереї або технічні відсіки дорожніх розв'язок. Такий підхід забезпечує мінімальні відстані до безпечних зон і високу ефективність евакуації без потреби у масштабному будівництві нових об'єктів.

Для України, особливо в умовах війни, ці приклади мають високу практичну цінність. Середні та малі міста, які не мають доступу до метрополітену або обмежені в ресурсах для будівництва масштабних укриттів, можуть орієнтуватися на моделі адаптивної інтеграції захисних модулів у вже наявну транспортну інфраструктуру. Автомобільні розв'язки, об'їзні тунелі, технічні галереї або навіть розширені ділянки дренажних систем можуть виступати основою для локальних укриттів.

Подальший розвиток таких рішень в українських умовах потребує уточнення вимог у будівельних нормах, зокрема, щодо матеріалів, герметичності, вибухостійкості, автономності систем життєзабезпечення та стандартів взаємодії з інженерними мережами. Це дозволить уніфікувати підходи до проектування локальних укриттів, інтегрованих у дорожню інфраструктуру, і створити основу для масштабного впровадження концепції SWETO.

Хоча в міському середовищі можуть використовуватись і інші типи укриттів, а саме: підвали, підземні паркінги чи частково адаптовані технічні простори (зокрема, зливові каналізації), більшість із них не відповідає базовим критеріям оперативного доступу, безпечного перебування та довготривалої автономності. Їхнє використання ускладнене технічним станом, щільністю забудови, відсутністю публічного доступу або належного утримання.

За цих умов інтеграція модульних захисних конструкцій безпосередньо в тротуарну частину вулиць, пішохідних зон або у транспортну інфраструктуру розглядається як потенційно ефективний підхід до розширення мережі укриттів. Такий формат дозволяє створити додатковий рівень захисту в умовах обмежених ресурсів та високої щільності забудови, забезпечуючи швидкий доступ до укриття без потреби в масштабному новому будівництві.

Показовим є дослідження [9], у якому розроблено бі-рівневу багатокритеріальну модель оптимізації для вибору місць розташування міських укриттів. Запропонований підхід поєднує рівень прийняття рішень органами управління (визначення кількості та розміщення об'єктів) і рівень поведінки населення (вибір маршруту евакуації) в умовах обмежених ресурсів. Модель враховує

показники доступності, ефективності та економічності, а також обмеження за пропускнуою спроможністю укриттів і транспортної інфраструктури.

Розрахунки виконано із застосуванням методу імітації відпалу, що дало змогу досягти балансу між швидкістю евакуації, раціональним розподілом ресурсів і мінімізацією перевантаження укриттів. Результати дослідження підтверджують ефективність використання просторової оптимізації та моделей розміщення-розподілу для планування мережі захисних споруд у щільній міській забудові.

Запропонована модель може слугувати методологічною основою для розроблення українських сценаріїв, адаптованих до умов середніх і малих міст, де відсутній метрополітен, а технічні ресурси є обмеженими. Її принципи дозволяють інтегрувати укриття у транспортно-пішохідну інфраструктуру, включно з тротуарними модулями та об'єктами подвійного призначення в межах дорожніх розв'язок [9].

Для підвищення ефективності системи захисту необхідно розробити методику просторового планування укриттів на основі технічного моделювання та багатокритеріальної оптимізації. Як показано у дослідженні [9], використання бі-рівневих моделей розміщення-розподілу дає змогу визначати оптимальні інтервали між укриттями, виходячи з часу евакуації, пропускнуої спроможності та доступності шляхів руху. Такий підхід дозволяє проектувати мережу укриттів із раціональним використанням ресурсів, забезпечуючи баланс між безпечністю та економічною доцільністю.

Для практичного впровадження концепції SWETO в межах дорожньої інфраструктури доцільно передбачити в національних будівельних нормах окремий розділ, який би регламентував ключові технічні вимоги до таких укриттів. Це стосується насамперед матеріалів конструкцій, герметичності, параметрів вибухостійких дверей відповідно до EN 13123/13124 [12] та критеріїв роботи систем димовидалення й вентиляції відповідно до EN 12101-6 та NFPA 502[10,11]. Час реакції систем визначається сценарно: з урахуванням етапів детекції, автоматичного запуску й досягнення проектних показників тиску та видимості.. Водночас актуальним залишається питання просторової доступності укриттів.

Висновки. Впровадження пілотних рішень у межах автомобільних доріг, транспортних споруд або вулиць та доріг населених пунктів дасть змогу перевірити технічну життєздатність та економічну ефективність таких укриттів у реальних умовах. Результати цього етапу можуть стати основою для формування оновлених будівельних норм і розроблення практичних рекомендацій у сфері цивільного захисту.

Попри те, що SWETO розроблялась як технічне рішення для специфічних інженерних ситуацій, вона демонструє потенціал для ширшого застосування, зокрема, як спосіб забезпечення тимчасового укриття на відкритих ділянках вулично-дорожньої мережі. Йдеться про території, де відсутній доступ до стаціонарних захисних споруд або час, необхідний для евакуації, є обмеженим. У цьому контексті SWETO може розглядатися як гнучке інженерне рішення, яке не потребує масштабного будівництва та може доповнити існуючу інфраструктуру захисту населення. Для цього необхідне подальше технічне опрацювання, адаптація до чинної нормативної бази та узгодження з вимогами цивільного захисту.

Досвід аварій та пожеж у транспортних тунелях, зокрема узагальнений у китайських дослідженнях 2023 року, підтверджує, що навіть за наявності технічних засобів евакуації фактори часу, орієнтації та доступності маршрутів визначають успішність саморятуння. Це ще раз підкреслює важливість створення локальних укриттів безпосередньо в межах дорожньої інфраструктури, які забезпечують миттєвий доступ до захищеного простору без необхідності складної навігації.

Інтеграція модульних укриттів у дорожнє покриття або об'єкти наземної інфраструктури не лише відповідає вимогам адаптивного реагування на сучасні ризики, а й компенсує обмеження традиційної системи сховищ. З урахуванням факторів поведінки людей в екстрених ситуаціях, такі рішення можуть стати дієвим доповненням до існуючої мережі захисних споруд, особливо у середовищах з підвищеним рівнем загроз та обмеженим просторовим ресурсом.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Shelters in single-tube road tunnels (2016). Tunnelling and Underground Space Technology. – [електронний ресурс] URL: <https://ebooks.uis.no/index.php/USPS/catalog/book/272>.
2. HuffPost / Seoul Solution (2023). In Seoul, Confusion And Apathy Surround City's 3,200 Bomb Shelters. HuffPost / Seoul Solution. – [електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.huffpost.com/entry/seoul-bomb-shelters_n_59927081e4b09071f69c2539.

3. WHO-EURO (2025). Underground shelters and services in hospitals. Копенгаген: World Health Organization, Regional Office for Europe, 2025. 11046-50818-77024 (електронне вид.). Ліцензія: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. – [електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.who.int/europe>.
4. Swiss Review (2022). Sonnenberg bunker is drawing attention due to the war in Ukraine. Swiss Review. – [електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.swisscommunity.org/en/news-media/swiss-revue/article/sonnenberg-bunker-is-drawing-attention-due-to-the-war-in-ukraine>.
5. Zhao X., Yang K., Li Y., et al. (2023) Tunnel fire evacuation: A review in China. Fire Technology, Preprint. – [електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/366627318_A_Review_of_Tunnel_Fire_Evacuation_Strategies_and_State-of-the-Art_Research_in_China.
6. Kim S., Kim J., Kim H., et al. (2022). Evacuation of Shelter in Place at Subway Transfer Stations during Tunnel Fires: Case of Seoul. Sustainability, 14(15), с. 5491. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings12111981>.
7. European Parliament and Council. Directive 2004/54/EC on minimum safety requirements for tunnels in the Trans-European Road Network. – Luxembourg: Official Journal of the European Union, 2009. – [електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX%3A02004L0054-20090807>.
8. Jiang, H. et al. (2024). Effects of fire smoke on evacuation in road tunnels with refuge areas: A simulation study. International Journal of Environmental Research and Public Health, 21(2), с. 275. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12198-024-00275-7>.
9. He, L. & Xie, Z., 2022. Optimization of Urban Shelter Locations Using Bi-Level Multi-Objective Location-Allocation Model. International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(7), p.4401. <https://www.mdpi.com/1660-4601/19/7/4401>.
10. CEN. EN 12101-6:2022. Smoke and heat control systems – Part 6: Specification for pressure differential systems – Brussels: European Committee for Standardization, 2022. – [електронний ресурс]. – Режим доступу: https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/5f126835-6b1a-4fbd-ba4b-2fe1d81669e7/en-12101-6-2022?srltid=AfmBOopkUdb6-lOugikuK_RZ0YE_u2tbIILVIS2CBcoCYXEYGDajtFQc.
11. NFPA. NFPA 502: Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways. – Quincy, MA: National Fire Protection Association, 2020. – [електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://fire-gas.com/storage/2024/06/NFPA-502-2020-Tunnel-Road.pdf>
12. CEN. EN 13123-1 / EN 13124-1:2001. Windows, doors and shutters – Explosion resistance – Requirements and classification – Part 1: Shock tube test method. – Brussels: European Committee for Standardization, 2001. – [електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/461b9de1-be7f-4ae8-a8c6-7ce5c0c51c18/en-13123-1-2001>
13. CEN. EN 13124-1:2001. Windows, doors and shutters – Explosion resistance – Requirements and classification – Part 1: Shock tube test method. – Brussels: European Committee for Standardization, 2001. – [електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/d140989d-e237-4f85-b02c-a4ab73c0c67c/en-13124-1-2001?srltid=AfmBOoqgAZWF8aTfGlc8DvwXeDKtIHDLtV3yDtMVL3nWfo5-W1-9PIXG&>

REFERENCES

1. Shelters in single-tube road tunnels (2016). Tunnelling and Underground Space Technology, [online] URL: <https://ebooks.uis.no/index.php/USPS/catalog/book/272>
2. HuffPost / Seoul Solution (2023). In Seoul, Confusion And Apathy Surround City's 3,200 Bomb Shelters. HuffPost / Seoul Solution. – [online]. URL: https://www.huffpost.com/entry/seoul-bomb-shelters_n_59927081e4b09071f69c2539.
3. WHO-EURO (2025). Underground shelters and services in hospitals. Копенгаген: World Health Organization, Regional Office for Europe, 2025. 11046-50818-77024 (електронне вид.). Ліцензія: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. – [online]. URL: <https://www.who.int/europe>.
4. Swiss Review (2022). Sonnenberg bunker is drawing attention due to the war in Ukraine. Swiss Review – [online]. URL: <https://www.swisscommunity.org/en/news-media/swiss-revue/article/sonnenberg-bunker-is-drawing-attention-due-to-the-war-in-ukraine>.
5. Zhao X., Yang K., Li Y., et al. (2023) Tunnel fire evacuation: A review in China. Fire Technology, Preprint. – [online]. URL: https://www.researchgate.net/publication/366627318_A_Review_of_Tunnel_Fire_Evacuation_Strategies_and_State-of-the-Art_Research_in_China.

6. Kim S., Kim J., Kim H., et al. (2022). Evacuation of Shelter in Place at Subway Transfer Stations during Tunnel Fires: Case of Seoul. *Sustainability*, 14(15), c. 5491. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings12111981>.
7. European Parliament and Council. Directive 2004/54/EC on minimum safety requirements for tunnels in the Trans-European Road Network. – Luxembourg: Official Journal of the European Union, 2009. – [online]. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX%3A02004L0054-20090807>
8. Jiang, H. et al. (2024). Effects of fire smoke on evacuation in road tunnels with refuge areas: A simulation study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 21(2), c. 275. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12198-024-00275-7>
9. He, L. & Xie, Z., 2022. Optimization of Urban Shelter Locations Using Bi-Level Multi-Objective Location-Allocation Model. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(7), p.4401. [online]. URL: <https://www.mdpi.com/1660-4601/19/7/4401>
10. CEN. EN 12101-6:2022. Smoke and heat control systems – Part 6: Specification for pressure differential systems – Brussels: European Committee for Standardization, 2022. – [online]. URL: https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/5f126835-6b1a-4fbd-ba4b-2fe1d81669e7/en-12101-6-2022?srltid=AfmBOopkUdb6-lOugikuK_RZ0YE_u2tbIILVIS2CBcoCYXEYGDajtFQc
11. NFPA. NFPA 502: Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways. – Quincy, MA: National Fire Protection Association, 2020. – [online]. URL: <https://fire-gas.com/storage/2024/06/NFPA-502-2020-Tunnel-Road.pdf>
12. CEN. EN 13123-1 / EN 13124-1:2001. Windows, doors and shutters – Explosion resistance – Requirements and classification – Part 1: Shock tube test method. – Brussels: European Committee for Standardization, 2001. – [online]. URL: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/461b9de1-be7f-4ae8-a8c6-7ce5c0c51c18/en-13123-1-2001>
13. CEN. EN 13124-1:2001. Windows, doors and shutters – Explosion resistance – Requirements and classification – Part 1: Shock tube test method. – Brussels: European Committee for Standardization, 2001. – [online]. URL: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/d140989d-e237-4f85-b02c-a4ab73c0c67c/en-13124-1-2001?srltid=AfmBOoqgAZWF8aTfGIC8DvwXeDKtIHDLTv3yDtMVL3nWFO5-W1-9PIXG&>

РЕФЕРАТ

Кватадзе А.І. Інтеграція захисних укриттів у дорожню інфраструктуру: системний огляд міжнародного досвіду. / А.І. Кватадзе, В.В. Стюжка // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий, науково-виробничий журнал. – К.: НТУ, 2025.

У статті здійснено огляд міжнародного досвіду інтеграції захисних укриттів у дорожню інфраструктуру на прикладі країн Європи та Азії. Проаналізовано технічні, конструктивні та поведінкові аспекти впровадження укриттів подвійного призначення, зокрема, системи SWETO, а також визначено можливості їх адаптації до умов України. Особливу увагу приділено проектним викликам, питанням економічної доцільності, поведінковим ризикам під час евакуації та доступності укриттів для населення.

Об'єкт дослідження – процес інтеграції захисних укриттів у транспортну інфраструктуру, як елемент системи цивільного захисту.

Метою роботи є систематизація міжнародного досвіду створення укриттів подвійного призначення в дорожній інфраструктурі та визначення шляхів його адаптації до українських умов.

Метод дослідження. Аналіз, порівняння, систематизація міжнародних практик, узагальнення технічних і поведінкових аспектів, системний підхід.

Сучасні умови воєнних загроз вимагають переосмислення підходів до проектування транспортної інфраструктури як потенційного елементу системи цивільного захисту. Міжнародна практика показує, що інтегровані укриття (SWETO, багатофункціональні тунелі, бункери подвійного призначення) можуть забезпечити оперативний захист населення без необхідності масштабного нового будівництва. Такі рішення успішно реалізовано у Швейцарії, Норвегії, Південній Кореї та Китаї. У статті підкреслено, що для України доцільним є поступове впровадження модульних укриттів у межах існуючих дорожніх об'єктів із урахуванням технічних, соціальних і нормативних чинників.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ, ДОРОЖНЯ КОНСТРУКЦІЯ, ДОРОЖНІ ТУНЕЛІ, ЗАХИСНІ СПОРУДИ, ІНФРАСТРУКТУРА ПОДВІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ, УКРИТТЯ, SWETO.

ABSTRACT

Kvatadze A., Stozhka V. Integration of Protective Shelters into Road Infrastructure: A Systematic Review of International Experience. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific, scientific and industrial journal. – K.: NTU, 2025. – Issue 1 (60).

The article presents a systematic review of international experience in integrating protective shelters into road infrastructure based on case studies from Europe and Asia. The research analyses technical, structural, and behavioural aspects of implementing dual-purpose protective facilities, including the SWETO system, and assesses their potential adaptation to Ukrainian conditions. Special attention is paid to design challenges, economic feasibility, behavioural factors during evacuation, and accessibility of shelters for the population.

Object of research – integration of protective shelters into transport infrastructure as part of the civil protection system.

Purpose of the study to systematize international experience in implementing dual-purpose protective shelters within road infrastructure and identify ways of adapting these solutions to the Ukrainian context.

Research methods. Analysis, comparison, systematization of international practices, generalization of technical and behavioural aspects, and a systems approach.

The modern context of military threats requires reconsidering the role of transport infrastructure as a potential component of civil protection systems. International practice demonstrates that integrated shelters (SWETO, multifunctional tunnels, dual-purpose bunkers) can ensure rapid protection for the population without extensive new construction. Successful implementations have been recorded in Switzerland, Norway, South Korea, and China. The study highlights the relevance of modular shelters embedded into existing Ukrainian road facilities, taking into account technical, social, and regulatory factors.

KEYWORDS: SHELTERS, ROAD STRUCTURE, PROTECTIVE FACILITIES, ROAD TUNNELS, DUAL-PURPOSE INFRASTRUCTURE, SWETO, HIGHWAYS.

АВТОРИ:

Кватадзе А.І., Національний транспортний університет, кандидат технічних наук, доцент кафедри дорожньо-будівельних матеріалів та хімії, e-mail: kvatadze_alina@ukr.net, тел. +380662100191, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, <https://orcid.org/0000-0003-3320-3798>

Стьожка В.В., Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортного будівництва та управління майном, кандидат технічних наук, доцент, e-mail: styozhka@ukr.net, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, <https://orcid.org/0000-0002-5039-9852>

AUTHOR:

Kvatadze A., National Transport University, Ph.D. in Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: kvatadze_alina@ukr.net, тел. +380662100191, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovycha-Pavlenka St.1, <https://orcid.org/0000-0003-3320-3798>

Stozhka V., National Transport University, Associate Professor of the Department of Transport Construction and Property Management, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: styozhka@ukr.net, Ukraine, 01010, Kyiv, 1 Omelianovycha-Pavlenka St., <https://orcid.org/0000-0002-5039-9852>

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Мозговий В.В. доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, Національний транспортний університет, Київ, Україна.

Бугаєвський С.О. доктор технічних наук, професор, декан дорожньо-будівельного факультету, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна.

REVIEWER:

Mozghovyi V.V. Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Road-Building Materials and Chemistry, National Transport University, Kyiv, Ukraine.

Buhaiovskiy S.O. Doctor of Technical Sciences, Professor, Dean of the Road Construction Faculty, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine.