

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 625.8-047.44

М. Б. КУРГАН¹, Д. М. КУРГАН², О. Ф. ЛУЖИЦЬКИЙ^{3*}, М. А. ГУСАК⁴, С. Ю. БАЙДАК⁵

¹ Кафедра «Транспортна інфраструктура», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 48, ел. пошта m.b.kurhan@ust.edu.ua, ORCID 0000-0002-8182-7709

² Кафедра «Транспортна інфраструктура», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 48, ел. пошта d.m.kurhan@ust.edu.ua, ORCID 0000-0002-9448-5269

^{3*} Кафедра «Транспортна інфраструктура», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 48, ел. пошта o.f.luzhickii@ust.edu.ua, ORCID 0000-0001-6519-7447

⁴ Кафедра «Транспортна інфраструктура», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 48, ел. пошта m.a.husak@ust.edu.ua, ORCID 0000-0001-8187-7792

⁵ Кафедра «Транспортна інфраструктура», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 48, ел. пошта s.y.baidak@ust.edu.ua, ORCID 0000-0002-7909-8527

ОЦІНКА ВАРІАНТІВ ДОРОЖНЬОГО ПОКРИТТЯ НА ОСНОВІ МЕТОДУ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ

Мета. Метою даної роботи є проведення комплексного аналізу різних видів дорожніх покриттів, включаючи асфальтобетон, цементобетон і бруківку, з метою визначення найбільш оптимального варіанту для конкретного проекту на основі критеріїв продуктивності, тривалості, вартості та екологічного впливу. **Методика.** Методика передбачає вибір будівельних матеріалів та раціональних методів будівництва з урахуванням погодних умов, кліматичних факторів та економічних факторів, що впливають на показники якості й зносостійкості покриття дороги. Для оцінки варіантів дорожнього покриття з урахуванням вагомості різних критеріїв використовується метод аналізу ієрархій (МАІ). Процес включає створення ієрархії критеріїв, оцінку їх важливості, парний порівняльний аналіз, розрахунок вагових коефіцієнтів та оцінку альтернатив. На основі цього аналізу визначається оптимальний варіант дорожнього покриття для конкретного проекту чи завдання. **Результати.** На даному етапі рішення задачі з порівняння конструкцій дорожнього розглянуто десять основних вимог та три широко поширених типи покриття: асфальтобетонне, цементобетонне й бруківка. На основі проведення комплексного аналізу різних видів дорожніх покриттів, встановлено найбільш оптимальний варіант для конкретного проекту на основі критеріїв продуктивності, тривалості, вартості та екологічного впливу. **Наукова новизна.** Застосовано науковий підхід, який передбачає вибір конструкції дорожнього покриття та раціональних методів будівництва з урахуванням погодних умов, кліматичних та економічних факторів, що впливають на показники якості й зносостійкості покриття дороги та враховують вагомість різних критеріїв для встановлення оптимального варіанту дорожнього покриття для конкретного проекту чи завдання. **Практична значимість.** Модель бізнесу включає в себе етапи проектування, реалізацію будівельних робіт і передбачає послідовність заходів для створення, розвитку і ефективного функціонування промислових підприємств. Вибір оптимальної конструкції дорожнього покриття дозволить промисловим підприємствам отримувати прибутки в найбільш короткий термін при мінімальних інвестиціях.

Ключові слова: дорожнє покриття, життєвий цикл, зносостійкість, кліматичні умови, безпека дорожнього руху

Вступ

Транспорт є однією зі стратегічних та найбільш важливих галузей економіки будь-якої держави. Україна не є виключенням, тому має досить велику мережу автомобільних та залізничних доріг.

Одним з ключових факторів, що впливає на успішне будівництво автомобільних доріг, є застосування інноваційних технологій. Інновації та високі технології мають вирішальне значення для формування нової, більш ефективної

моделі управління розвитком транспортно-дорожнього комплексу України (Національна транспортна стратегія України до 2030 р.). Це вимагає використання сучасних матеріалів та ефективних дорожньо-будівельних машин і механізмів, які дозволяють досягти високої продуктивності та якості будівництва. Саме вибір будівельних матеріалів та раціональних методів будівництва з урахуванням погодних умов, кліматичних факторів та економічних факторів впливають на показники якості й зносостійкості покриття дороги.

Складні умови при проектуванні покриття на промисловому підприємстві визначаються головним чином геологічними умовами. Саме через це існує необхідність передбачити посилену конструкцію дорожнього одягу, застосовуючи геоматеріали. Також до складних умов можна віднести економічні спроможності приватних підприємств, так як це напряму впливає на обрану конструкцію та проєктні рішення.

Існуючі методи аналізу розрахунку міцності дорожнього одягу базуються на дослідженнях вітчизняних та іноземних авторів. Роботи містять аналіз різних типів покриттів. Так, в статтях Гамеляк, & Карафізі, (2016) і Мозгового, Куцмана, Барана, & Боровика, (2016) розглянуто досвід впровадження дорожніх покриттів з бруківаним покриттям, проаналізовано роботу таких покриттів на реальних прикладах на вулицях міст та центрів логістики з визначенням їх дефектів та визначення їх причин. Надані рекомендації щодо подальшого використання бруківки в дорожньому будівництві, а результати дослідження впроваджено в норми проєктування.

В роботі Кірічека, Балашової, Дем'яненка, & Руденка, (2016) представлено результати дослідження щодо зниження ресурсних витрат на будівництво різних видів дорожнього одягу. Результати показали, що застосування геосинтетичних армуючих матеріалів є ефективним методом для підвищення міцності конструкції. Більш дороге будівництво нівелюється зменшенням витрат на подальший ремонт. В роботі Гамеляка, Дмитриченка, Нагайчука, et al., (2020) викладено результати досліджень з ремонту та підсилення покриттів нежорсткого типу за технологією "whitetopping". Наведені приклади показують переваги нової технології. За результатами аналізу зроблені висновки щодо доцільності застосування технології в подальшому розвитку автодорожнього будівництва. В статті Безуглого, Ілляша, & Тимощука, (2015) викладено результати проведеного аналізу доцільності використання різних типів покриття дорожнього одягу. Шляхом порівнянням цін на різні матеріали упродовж декількох років, побудовані графіки тенденцій зміни цін, що дозволяє прогнозувати витрати на нове будівництво і утримання автодороги. Опираючись на отримані результати аналізу, були зроблені відповідні висновки щодо вартості і довгостроко-

вості перспективних конструкцій. В статті Петренка, & Пашковича, (2021) досліджено особливості проєктування автомобільної дороги, наведено результати дослідження роботи різних типів дорожнього одягу на етапі проєктування контейнерного терміналу типу «сухий порт».

В роботі Гамеляка, & Холоднюка, (2017) досліджено досвід впровадження покриттів з бруківки на промислових територіях. Показані переваги бруківаних покриттів в порівнянні з бетонними та надані рекомендації щодо використання таких покриттів. В роботі іноземних авторів Füssl, Kluger-Eigl, & Blab, (2016) проведено детальний аналіз роботи бетонних бруківаних покриттів. Розроблена механічна модель дозволяє оцінити різного типу навантаження, яке діє на покриття.

В роботі Hengl, Kluger-Eigl, Lukacevic, et al. (2018) проведено аналіз стійкості до горизонтальних деформацій надбудов з плитки. Проведено експериментальне дослідження для п'яти видів тротуарної плитки і шести різних варіантів укладання. Спираючись на отримані дані, були розроблені графіки впливу висоти плитки на величину максимальних деформацій. Для дослідження поведінки цементобетонного покриття в роботі Li-juan, Chang-bin, & Zeng-hua, (2021) був проведений експеримент. Результати дослідження показали, що в перші 28 днів експлуатації значний вплив має саме навколишнє середовище. Надані рекомендації щодо правильної експлуатації цементобетонного покриття на ранніх етапах. В роботі Jeevitha, Vivekanand, & Sharma, (2022) розглянуто проблему виявлення пошкоджень автомобільних доріг та визначення їх класифікації. Проаналізувавши літературу, присвячену пошкодженням автодоріг, було запропоновано нову систему. Це хмарний сервіс, в якому зберігаються дані про дорогу і її пошкодження. За допомогою знімків система визначає стан поверхні на основі дефектів, створюючи відповідну модель. Також система визначає фактори, які спричинили пошкодження дороги. Ці дані в перспективі можуть використовуватися для забезпечення певних заходів з технічного обслуговування. В роботі Praticò, Briante, & Licitra, (2019) проаналізовані такі властивості дорожніх покриттів як шум і дренаж. Розглянуто різні шари як окремо, так і в спільній системі з урахуванням дії різних фак-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

торів, умов та етапів експлуатації. Було надано та обговорено ряд алгоритмів, що допомагають при визначенні властивостей конструкції.

Актуальним питанням сьогодні є відновлення інфраструктури автомобільних доріг. Так, метою Міжнародної мультидисциплінарної науково-практичної інтернет-конференції (2023) був аналіз сучасних підходів з удосконалення транспортно-логістичної інфраструктури та визначення найбільш ефективних напрямків їх застосування для відновлення, модернізації та подальшого комплексного розвитку української логістичної системи, створення стратегії якісного відновлення автомобільних доріг. В збірнику наукових праць за матеріалами Всеукраїнської наукової конференції (Логістика і транспортна безпека (2022) викладено результати досліджень фахівців УДУНТ, з яких випливає, що значну роль в процесі відновлення відіграють сучасні технології, проривні і новаторські технічні рішення, конструкторські розробки, наукові відкриття, інженерні інновації.

Одним із підходів до розв'язання проблеми відновлення дорожнього покриття є використання математичних моделей та алгоритмів для прогнозування стану дороги та підбору оптимальних методів її відновлення. У своїй роботі Yang, F. et al. (2018) досліджували різні методи прогнозування стану дорожнього покриття на основі даних про його відмінності та руйнування. За результатами дослідження розроблено прогностичні моделі для визначення необхідності та оптимальних методів підтримки дорожнього покриття.

У статті Seyedabrishami, Nejad, & Moghadas Nejad, (2020) провели огляд методів відновлення дорожнього покриття для різних типів дефектів, таких як тріщини, вибоїни, розшарування тощо.

Для більш ефективного використання інформації в практиці, можуть бути розроблені системи моніторингу та контролю за станом дороги, які дозволять збирати дані про дефекти та їх розповсюдження на дорозі, а також використовувати ці дані для прогнозування майбутнього стану дороги та планування робіт з її відновлення. Одним з прикладів такої системи є програмне забезпечення Road Doctor, розроблене компанією ARRB Group. Ця система використовує дані, зібрані за допомогою спеціальних датчиків, для аналізу стану дороги та розрахун-

ку її залишкового ресурсу. На основі цих даних програма пропонує оптимальні методи відновлення дорожнього покриття та розраховує вартість необхідних робіт.

Також важливо враховувати екологічні аспекти при відновленні дорожнього покриття. Наприклад, у статті Zohdy, et al. (2018) досліджували використання різних реагентів та технологій для відновлення дорожнього покриття з максимальною економією матеріальних та енергетичних ресурсів. В роботі Assessment of the Effectiveness of Pavement Maintenance Treatments (2021) автори провели аналіз ефективності різних методів підтримки дорожнього покриття з метою підвищення його тривалості та зменшення витрат на його ремонт.

Виходячи з результатів вищевказаного аналізу, була визначена мета роботи і напрямки наступних досліджень.

Мета

Метою даної роботи є проведення комплексного аналізу різних видів дорожніх покриттів, включаючи асфальтобетон, цементобетон і бруківку, з метою визначення найбільш оптимального варіанту для конкретного проекту на основі критеріїв продуктивності, тривалості, вартості та екологічного впливу.

Методика

Методика передбачає вибір будівельних матеріалів та раціональних методів будівництва з урахуванням погодних умов, кліматичних факторів та економічних факторів, що впливають на показники якості й зносостійкості покриття дороги. Для оцінки варіантів дорожнього покриття з урахуванням вагомості різних критеріїв використовується метод аналізу ієрархій (MAI). Процес включає створення ієрархії критеріїв, оцінку їх важливості, парний порівняльний аналіз, розрахунок вагових коефіцієнтів та оцінку альтернатив. На основі цього аналізу визначається оптимальний варіант дорожнього покриття для конкретного проекту чи завдання.

Конструкції дорожнього одягу розраховані за методикою відповідно до ГБН В.2.3-376419118-559:2019 та ГБН В.2.3-376419118-557:2016. Усі розрахунки конструкцій дорожніх одягів були виконані в системі CREDO РАДОН UA програмного комплексу CREDO.

Варіанти покриттів, що порівнюються, наведено на рисунку 1.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

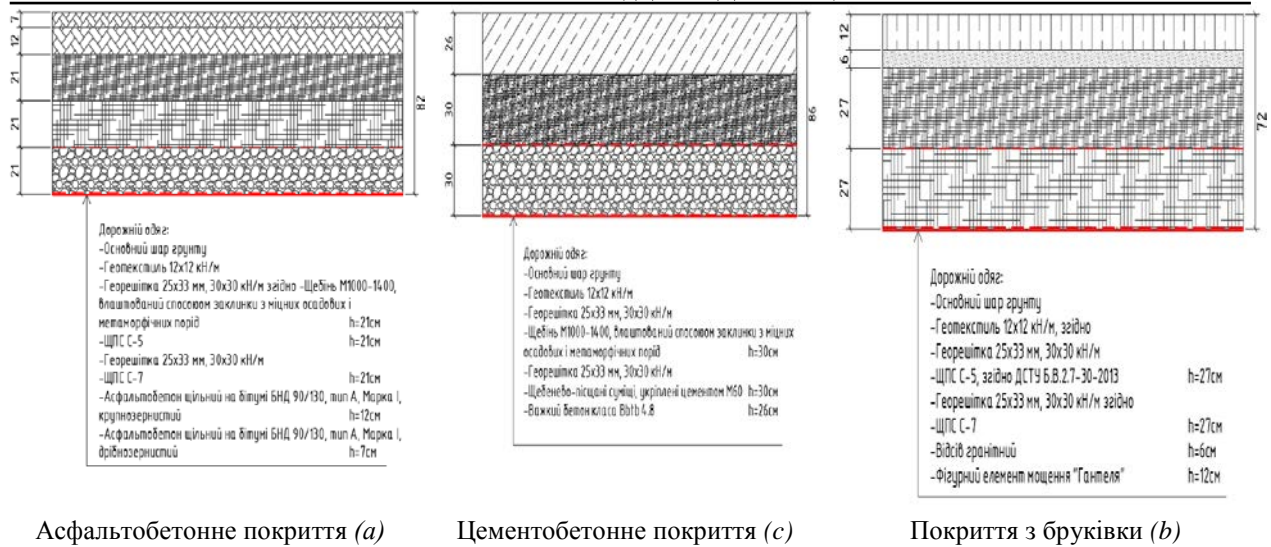


Рис. 1 Конструкції дорожніх покриттів, обраних для порівняння

Провівши техніко-економічні дослідження вище наведених варіантів покриття, встановлено, що всі розглянуті варіанти задовольняють умовам надійності й міцності і можуть порівнюватись. При цьому встановлено, що конструкція з використанням бруківки має найменшу товщину серед інших. Це позитивний фактор, через те, що порівняно з іншими варіантами менша товщина конструкції дозволяє знизити об'єми підготовчих земляних робіт приблизно на 12%. Також використовуючи бруківку отримано найменші трудовитрати при виконанні робіт, а також і позапланового ремонту ділянок.

Крім вартості будівництва, важливо оцінити вартість ремонту та обслуговування на протязі життя дорожнього покриття, а також експлуатаційні показники, що пов'язані з тривалістю служби, опором руху, зносостійкістю, шумом, вібрацією і в кінцевому підсумку – з безпекою руху транспортних засобів. Вартість ремонту та обслуговування на протязі життя дорожнього покриття є ключовим аспектом у плануванні та управлінні інфраструктурою. Оцінка цих витрат допоможе ефективно розподіляти бюджет, визначати пріоритети і раціонально витратити ресурси на підтримання якості доріг. Нижче наведено вимоги і основні відмінності дорожнього покриття автомобільної дороги: асфальтобетону, цементобетону й бруківки.

А. Життєвий цикл. Асфальтобетон зазвичай має коротший життєвий цикл порівняно з цементобетоном і брушаткою і становить бли-

зько 10-20 років, в залежності від об'єму транспортного руху, якості будівництва і обслуговування. Життєвий цикл цементобетону може сягати 20-30 років або навіть більше в залежності від якості матеріалу і технології будівництва. Зазвичай потребує менше регулярних ремонтів і обслуговування, але може вимагати планового обслуговування і виправлення тріщин з часом. Брушатка має найдовший життєвий цикл серед цих трьох матеріалів. Якщо правильно встановлена і ретельно обслуговувана, брушатка може служити протягом багатьох десятиліть. Вимагає регулярного обслуговування, заміни окремих каменів і оновлення заповнювачів в швах, але це робиться з меншою частотою порівняно з ремонтами асфальтобетону або цементобетону. Довговічність покриттів з бруківки різна, тому що вона більш залежна від надійності основи, ніж у інших типів покриття.

В. Опір руху транспортних засобів. Традиційний асфальтобетон має гладкі й рівні поверхні, що забезпечує досить низький опір руху, сприяє більш низькій витраті пального і дозволяє досягати високих швидкостей. Поверхня цементобетону зазвичай гладка і тверда, але може бути більш грубою порівняно з асфальтобетоном. Має високий коефіцієнт тертя, що робить його добрим варіантом для мокрих умов. Брушатка має високий опір руху через нерівність поверхні та велику кількість з'єднувальних швів, що може збільшити споживану пально та стомлювання на довгих відстанях.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

С. Зносостійкість. Асфальтобетон зазвичай менше зносостійкий порівняно з цементобетоном і брукаткою, особливо при інтенсивному автомобільному русі і транспортних навантаженнях. Може бути більш схильним до утворення ям, тріщин та зсувів, особливо в умовах змін погоди, морозу і розмерзання.

Цементобетон має вищу зносостійкість порівняно з асфальтобетоном, завдяки більш високій міцності і твердості. Зазвичай використовується на ділянках з великим навантаженням. Брукатка має високу зносостійкість завдяки твердим матеріалам, з яких вона виготовлена (зазвичай природнього каменю або бетону). Може витримувати великі транспортні навантаження, але зносостійкість може залежати від типу каменю та якості укладання.

Д. Склад матеріалів та технологія. Використання високоякісних матеріалів (бітуму, цементу та інших компонентів), які відповідають вимогам стандартів, може збільшити тривалість служби дорожнього одягу. Цементобетонні дороги коштують на 30...40 % дорожче в порівнянні з асфальтобетонними, проте з урахуванням довговічності їх будівництво є більш економічно вигідним в довгостроковій перспективі. Укладання брукованих покриттів по свої технології не таке важке, як з асфальтобетонною сумішшю чи цементобетоном, але має свої особливості, які значно впливають на майбутню експлуатацію. На відміну від інших покриттів, бруковане покриття не монолітне і це може створити умови для утворень колійності і перепадів.

Е. Поточне утримання. Асфальтобетон вимагає регулярного обслуговування та покриття ремонтних шарів, так як він схильний до утворення тріщин та ям під впливом навантажень і погодних умов. Цементобетон може мати менші потреби в регулярному ремонті порівняно з асфальтобетоном, але ремонт може бути більш складним та коштовним процесом через високу жорсткість матеріалу. В довгостроковій перспективі асфальтобетонне покриття виявляється дорожчим за рахунок більш частого ремонту.

Роботи з улаштування брукатого покриття можна виконувати в осінній період, при перепаді температур, коли важко забезпечити нормальну якість робіт з асфальто- і цементобетоном.

Ф. Стійкість до погодних умов. Асфальто-

бетон менш стійкий до погодних умов, особливо до ефектів морозу і розмерзання. Під впливом води і морозних температур може утворювати тріщини і ями, що призводить до швидкого зносу покриття. Цементобетон має кращу стійкість до морозу і розмерзання порівняно з асфальтобетоном, завдяки більшій міцності і твердості матеріалу. Можуть утворюватися тріщини під впливом значних температурних коливань. Брукатка має високу стійкість до погодних умов, включаючи мороз та розмерзання, витримує зміни температур і вологості, не утворюючи тріщин і ям, як це може відбуватися в асфальтобетоні. Цементобетон і брукатка менш схильні до пошкоджень під впливом сонячної радіації та ультрафіолету.

Г. Безпека руху. Різні типи дорожніх покриттів можуть впливати на безпеку руху та можливість ДТП (дорожньо-транспортних пригод) залежно від їхніх фізичних характеристик та інших факторів. Гладка і рівна поверхня асфальтобетону може сприяти безпеці руху, сприяючи гарній видимості і забезпечуючи більше передбачуваного керування автомобілем, але може бути схильним до ковзання в дощову і сніжну погоду. Поверхня цементобетону може бути більш грубою і має високий коефіцієнт тертя, що зазвичай поліпшує зчеплення шин з дорогою, що може покращити безпеку руху, менш схильний до утворення ковзання в дощову та сніжну погоду. Брукатка має нерівну поверхню з вирівнювальними каменями або плитками, що може зменшувати швидкість руху і створювати нерівності, які потенційно небезпечні для водіїв і пішоходів.

Для сухої погоди та швидкості 80...100 км/год на асфальтобетонному покритті гальмівний шлях може бути приблизно 50...80 метрів. У випадку цементобетону, який може мати жорстку структуру, гальмівний шлях може бути трохи коротшим в діапазоні 40...70 метрів. Гальмівний шлях на брукатці може бути довшим через нерівність поверхні та менший коефіцієнт тертя. Він може становити приблизно 60-100 метрів або більше.

Н. Шум і вібрація. Зазвичай асфальтобетон має гладку поверхню, що сприяє меншому шуму під час руху автомобілів. Відрізняється меншим вібраційним і шумовим рівнем порівняно з деякими іншими покриттями, особливо при використанні спеціальних шумознижуючих асфальтобетонів. Цементобетон має більш жор-

стку і менш гладку поверхню, що може призводити до більшого шуму при русі автомобілів. Відрізняється доброю стійкістю до великих транспортних навантажень і меншим вібраційним рівнем під час руху на добре укладеному покритті. Брущатка має нерівну поверхню з великою кількістю вирівнювальних каменів або плиток, що може призводити до більшого шуму і вібрації під час руху автомобілів. Шум і вібрація можуть бути меншими на брущатці, коли вона має якісне укладання і дорожнє обладнання, але це вимагає більшого догляду.

І. Стійкість до завантаження. Асфальтобетон зазвичай має меншу стійкість до завантаження порівняно з цементобетоном і брущаткою. Він піддається компресійній деформації та втраті структурної міцності під дією навантаження, особливо на великій швидкості і масі транспортних засобів. Цементобетон зазвичай має вищу стійкість до завантаження порівняно з асфальтобетоном. Його висока міцність дозволяє витримувати великі транспортні навантаження, що робить його популярним для використання на дорогах з високим транспортним рухом. Брущатка також може мати досить високу стійкість до завантаження, оскільки вона зазвичай виготовлена з важких матеріалів, таких як природний камінь або бетон. Узагальнюючи, цементобетон має найвищу стійкість до завантаження серед цих трьох матеріалів, а брущатка також може бути досить стійкою, особливо якщо вона виготовлена з міцних матеріалів. Асфальтобетон зазвичай має меншу стійкість до завантаження і може вимагати більш частого ремонту і обслуговування на дорогах з інтенсивним транспортним рухом і великими навантаженнями.

Л. Екологічні аспекти. Матеріали покриття можуть мати значний вплив на екологічні аспекти, такі як забруднення повітря, води, ґрунти, енергоефективність та стійкість природних екосистем. Виробництво асфальтобетону вимагає видобутку і обробки вугільних бітумів, що може впливати на навколишнє середовище, включаючи викиди газових забруднювачів та земельне використання. Асфальтобетонні дороги можуть вимагати регулярних обслуговувань та ремонтів, що може викликати незначний негативний вплив на екологію через використання ресурсів і викиди пов'язані з будівництвом. Виробництво цементу для цементобетону є енерговитратним процесом і включає велику кількість викидів CO₂, що призводить до впли-

ву на клімат. Цементобетон має велику тривалість служби, що може зменшувати потребу в частому ремонті і перебудові доріг, зменшуючи викиди відходів від будівництва. Виготовлення брущатки може включати використання природного каменю або бетону, які можуть бути видобуті з природних джерел, що може впливати на ландшафт та руйнувати природні екосистеми. Брущатка менш токсична у порівнянні з асфальтобетоном і цементобетоном, і вона не викидає шкідливі речовини в повітря.

Задачу з оцінки важливості компонентів А, В, С, D, E, F, G, H, I, J у порівнянні між собою можна математично записати, використовуючи числові значення або ваги для кожного з цих компонентів і порівнюючи їх за допомогою певного методу аналізу.

Кількість унікальних порівнянь можна обчислити за допомогою формули для обчислення комбінацій:

$$C(n, k) = \frac{n!}{k!(n-k)!}, \quad (1)$$

де n – кількість елементів для вибору, k – кількість елементів, які обираються для кожного порівняння.

Згідно формули (1), існує 45 унікальних порівнянь, які необхідно здійснити для оцінки важливості 10-ти компонентів, порівнюючи між собою (табл. 1).

Нехай А, В, С, D, E, F, G, H, I, J – компоненти. Позначимо їх ваги як $w_A, w_B, w_C, w_D, w_E, w_F, w_G, w_H, w_I, w_J$. За допомогою методу аналізу ієрархій (МАІ) визначаємо парні відношення важливості між компонентами Hamdy, (2023). Наприклад, якщо компонент А важливіший за В, то записуємо: $w_A > w_B$. Повторюємо цей процес для всіх можливих пар компонентів, утворюючи матрицю парних відношень.

Для складання матриці А співвідношення важливості висунутих вимог, кожен елемент якої $a_{i,j}$ є чисельною оцінкою важливості $i - i$ вимоги над $j - j$. Заповнимо табл. 1 за таких умов: рівнозначність оцінюється 1 балом, незначна перевага – 3 бали, середня перевага – 5 балів, сильна перевага – 7 балів, і повна перевага $i - i$ вимоги над $j - j$ – 9 балів.

Для кожного рівня обчислюються ваги кожного критерію чи альтернативи, як середнє геометричне відповідних оцінок матриці відносної важливості.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Таблиця 1

Кількість можливих порівнянь для 10-ти компонентів

№ з/п	Компоненти, що порівнюються між собою	Співвідношення компонентів за важливістю
1	(A) Життєвий цикл vs (B) Опір руху транспортних засобів	(A) > (B) + 7
2	(A) Життєвий цикл vs (C) Зносостійкість	(A) > (C) + 5
3	(A) Життєвий цикл vs (D) Склад матеріалів та технологія	(A) = (D) = 1
4	(A) Життєвий цикл vs (E) Поточне утримання	(A) > (E) + 3
5	(A) Життєвий цикл vs (F) Стійкість до погодних умов	(A) > (F) + 3
6	(A) Життєвий цикл vs (G) Безпека руху	(A) > (G) + 5
7	(A) Життєвий цикл vs (H) Шум і вібрація	(A) > (H) + 3
8	(A) Життєвий цикл vs (I) Стійкість до завантаження	(A) > (I) + 5
9	(A) Життєвий цикл vs (J) Екологічні аспекти	(A) > (J) + 3
10	(B) Опір руху транспортних засобів vs (C) Зносостійкість	(B) > (C) + 5
11	(B) Опір руху транспортних засобів vs (D) Склад матеріалів та технологія	(B) > (D) + 5
12	(B) Опір руху транспортних засобів vs (E) Поточне утримання	(B) = (E) = 1
13	(B) Опір руху транспортних засобів vs (F) Стійкість до погодних умов	(B) > (F) + 5
14	(B) Опір руху транспортних засобів vs (G) Безпека руху	(B) < (G) - 7
15	(B) Опір руху транспортних засобів vs (H) Шум і вібрація	(B) = (H) = 1
16	(B) Опір руху транспортних засобів vs (I) Стійкість до завантаження	(B) < (I) - 5
17	(B) Опір руху транспортних засобів vs (J) Екологічні аспекти	(B) = (J) = 1
18	(C) Зносостійкість vs (D) Склад матеріалів та технологія	(C) = (D) = 1
19	(C) Зносостійкість vs (E) Поточне утримання	(C) > (E) + 3
20	(C) Зносостійкість vs (F) Стійкість до погодних умов	(C) = (F) = 1
21	(C) Зносостійкість vs (G) Безпека руху	(C) < (G) - 7
22	(C) Зносостійкість vs (H) Шум і вібрація	(C) > (H) + 5
23	(C) Зносостійкість vs (I) Стійкість до завантаження	(C) = (I) = 1
24	(C) Зносостійкість vs (J) Екологічні аспекти	(C) < (J) - 3
25	(D) Склад матеріалів та технологія vs (E) Поточне утримання	(D) = (E) = 1
26	(D) Склад матеріалів та технологія vs (F) Стійкість до погодних умов	(D) > (E) + 5
27	(D) Склад матеріалів та технологія vs (G) Безпека руху	(D) < (G) - 7
28	(D) Склад матеріалів та технологія vs (H) Шум і вібрація	(D) > (E) + 5
29	(D) Склад матеріалів та технологія vs (I) Стійкість до завантаження	(D) = (I) = 1
30	(D) Склад матеріалів та технологія vs (J) Екологічні аспекти	(D) < (J) - 3
31	(E) Поточне утримання vs (F) Стійкість до погодних умов	(E) = (F) = 1
32	(E) Поточне утримання vs (G) Безпека руху	(E) < (G) - 7
33	(E) Поточне утримання vs (H) Шум і вібрація	(E) = (H) = 1
34	(E) Поточне утримання vs (I) Стійкість до завантаження	(E) < (I) - 5
35	(E) Поточне утримання vs (J) Екологічні аспекти	(E) = (J) = 1
36	(F) Стійкість до погодних умов vs (G) Безпека руху	(F) < (G) - 5
37	(F) Стійкість до погодних умов vs (H) Шум і вібрація	(F) = (H) = 1
38	(F) Стійкість до погодних умов vs (I) Стійкість до завантаження	(F) < (I) - 3
39	(F) Стійкість до погодних умов vs (J) Екологічні аспекти	(F) = (J) = 1
40	(G) Безпека руху vs (H) Шум і вібрація	(G) > (J) + 7
41	(G) Безпека руху vs (I) Стійкість до завантаження	(G) > (J) + 5
42	(G) Безпека руху vs (J) Екологічні аспекти	(G) > (J) + 3
43	(H) Шум і вібрація vs (I) Стійкість до завантаження	(H) < (J) - 7
44	(H) Шум і вібрація vs (J) Екологічні аспекти	(H) = (J) = 1
45	(I) Стійкість до завантаження vs (J) Екологічні аспекти	(I) < (J) - 3

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Для кожної альтернативи обчислюється сума добутків ваг критеріїв на їхні оцінки. Це допомагає знаходити найкращу альтернативу з урахуванням всіх критеріїв.

Метод МАІ також включає перевірку узгодженості, щоб переконатися, що ваги та оцінки не суперечать один одному.

Для заповнення табл. 1 «Співвідношення компонентів за важливістю» може бути застосована технологія «мозкового штурму». В цьому випадку проводиться аналіз переваг та недоліків компонент А, В, С, D, E, F, G, H, I, J через призму активізації інтелектуальної діяльності. Одне з найбільш важливих переваг мозкового штурму полягає в тому, що під час мозкового штурму заохочується творче мислення, причому генерування ідей відбувається в умовах комфортної творчої атмосфери.

Послідовність технології «мозкового штурму». Створюється група з експертів, які мають знання і досвід у галузі дорожнього будівництва, автомобільної техніки та інших відповідних сферах. Відповідно до п. 1 (табл. 1) перед учасниками ставиться завдання, вказавши, що потрібно визначити ступінь важливості «А» порівняно з «В», де значення важливості може бути від 1 до 9, де 1 – «А» абсолютно не важливе, а 9 – «А» надзвичайно важливе.

Результати мають наступний вигляд:

1. З точки зору тривалості служби дорожнього покриття (життєвий цикл) зниження опору руху транспортних засобів, що сприяє зменшенню витрат пального і дозволяє досягати більш високих швидкостей руху менш важливе

вимоги «А». Тому «А» важливіше за «В» на 7 балів.

2. З точки зору зносостійкості, наприклад, асфальтобетон має добру стійкість до зносу *при помірних навантаженнях*, цементобетон є відносно стійким до зносу і може довго тримати свою структуру *при великих навантаженнях*. Але більш вагомим є життєвий цикл покриття, тому «А» переважає «С» на 5 балів.

3. Відомо, що на життєвий цикл впливає склад матеріалів і технологія будівництва автодороги. Склад покриття з високоякісних матеріалів може збільшити тривалість служби дорожнього одягу, а тому співвідношення між «А» і «D» можна вважати рівнозначними і оцінити 1 балом.

4. Якщо зносостійкість буде високою, а склад покриття з високоякісних матеріалів (бітуму, цементу та інших компонентів) і технологія відповідає вимогам стандартів, що може збільшити тривалість служби дорожнього одягу, то співвідношення між «С» і «D» можна вважати рівнозначними і оцінити 1 балом.

Аналогічно розглядалася й надавалася оцінка по всім іншим компонентам.

Зворотне співвідношення вимог по ступені важливості виражається оберненим числом, тобто:

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

Таким чином, матриця А співвідношення важливості висунутих вимог приймає вигляд.

МАТРИЦЯ А	А	В	С	D	E	F	G	H	I	J
А	1	7	5	1	3	3	5	3	5	3
В	0,14	1	5	5	1	5	0,14	1	0,20	1
С	0,20	0,20	1	1	3	1	0,14	5	1	0,33
D	1	0,20	1	1	1	5	0,14	5	1	0,33
E	1	0,33	1	0,33	1	1	0,14	1	0,20	1
F	1	0,20	1	0,20	0,20	1	0,20	1	0,33	1
G	5	7	7	7	7	0,20	1	7	5	3
H	0,14	1	1	0,20	0,20	1	0,33	1	0,14	1
I	7	0,20	3	5	1	1	5	0,20	1	0,33
J	3	1	0,33	1	1	3	3	1	0,33	1

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Підрахуємо нормалізовану матрицю B , кожен елемент якої визначається за формулою

$$b_{i,j} = a_{i,j} / \sum_{i=1}^n a_{i,j}, \quad (3)$$

де n – кількість факторів порівняння.

Нормалізована матриця B приймає вигляд:

МАТРИЦЯ B	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A	0,051	0,386	0,197	0,046	0,163	0,142	0,331	0,119	0,352	0,250
B	0,007	0,055	0,197	0,230	0,054	0,236	0,009	0,040	0,014	0,083
C	0,010	0,011	0,039	0,046	0,163	0,047	0,009	0,198	0,070	0,028
D	0,051	0,011	0,039	0,046	0,054	0,236	0,009	0,198	0,070	0,028
E	0,051	0,018	0,039	0,015	0,054	0,047	0,009	0,040	0,014	0,083
F	0,051	0,011	0,039	0,009	0,011	0,047	0,013	0,040	0,023	0,083
G	0,257	0,386	0,276	0,322	0,380	0,009	0,066	0,278	0,352	0,250
H	0,007	0,055	0,039	0,009	0,011	0,047	0,022	0,040	0,010	0,083
I	0,359	0,011	0,118	0,230	0,054	0,047	0,331	0,008	0,070	0,028
J	0,154	0,055	0,013	0,046	0,054	0,142	0,199	0,040	0,023	0,083
Сума:	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Підрахуємо матрицю вагомості λ , яка кількісною оцінкою вказує на розподілення ступеня важливості по вимогам. Сума всіх елементів складає 1. Елементи матриці вагомості λ визначаються за формулою:

$$\lambda_i = \sum_{j=1}^n b_{i,j} / n. \quad (4)$$

Як видно з матриці λ , найбільш значущими за ступенем важливості факторами є вимоги G – Безпека руху і A – Життєвий цикл, що складають відповідно 25,8 % і 20,4 %. Найменш вагомими є вимоги H – Шум і вібрація і F – Стійкість до зовнішніх факторів, відповідно 3,2 % і 3,3 %. Вагомість інших вимог займає проміжні значення.

A	0,204
B	0,093
C	0,062
D	0,074
E	0,37
F	0,033
G	0,258
H	0,032
I	0,126
J	0,081

Визначимо, наскільки можна довіряти отриманим результатам. Зробимо оцінку сумісності для кожної вимоги:

$$S_i = \left(\sum_{j=1, k=1}^{j=n, k=n} a_{i,j} \lambda_k \right) / \lambda_i \quad (5)$$

Середнє значення підраховується за формулою

$$\bar{S} = \left(\sum_{i=1}^n S_i \right) / n. \quad (6)$$

Остаточню визначаємо параметр довіри отриманим результатам

$$C_R = (\bar{S} - n) / (r_i (n - 1)), \quad (7)$$

де r_i – коефіцієнт, який при $n=10$ складає 1,51 [23]. Після проведених розрахунків за формулами (6) і (7) отримуємо $C_R = 0,054$, що дає право згідно методу МАІ довіряти отриманим результатам. Оскільки $C_R < 0,1$, то рівень неузгодженості матриці A є прийнятним, що говорить про позитивність отриманих результатів.

Результати

В роботі проведено огляд наукових досліджень щодо роботи дорожнього покриття в складних умовах промислових підприємств. Наведено результати дослідження роботи різних типів дорожнього одягу на етапі проектування контейнерного залізничного терміналу типу «сухий порт». Проаналізовано технічні та економічні аспекти трьох варіантів дорожнього одягу: асфальтобетону, цементобетону й бруківки.

За результатами виконаних розрахунків наведено рекомендації щодо обґрунтування найбільш раціонального варіанту дорожнього одягу під'їзної автодороги та надана оцінка надійності їхньої роботи в складних умовах експлуатації промислових підприємств.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

На даному етапі рішення задачі з порівняння конструкцій дорожнього покриття маємо 10 складених вимог та три широко поширених типи покриття: асфальтобетонне, цементобетонне й бруківка (див. рис. 1), які для зручності позначені літерами латинського алфавіту відповідно (a), (c) і (b).

МАТРИЦЯ V	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
a	0,5	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	0,5	0,5
c	0,5	0,5	1,0	1,0	0,5	0,5	1,0	0,5	1,0	0,5
b	1,0	0,5	1,0	0,5	1,0	1,0	0,5	0,5	1,0	1,0

Для того, щоб остаточно прийняти рішення про те, який варіант найбільш відповідає поставленим вимогам, підрахуємо матрицю R за формулою

$$R=V\lambda \quad (8)$$

Матриця прийняття рішення набуває вигляду:

$$R = \begin{array}{|l} 0,563 \\ 0,760 \\ 0,771 \end{array}$$

З матриці прийняття рішення випливає, що покриття з бруківки отримало найвищу оцінку 0,771 і знаходиться на першому місці, на другому місці цементобетон з оцінкою 0,760 і третє місце при оцінці 0,563 займає широко поширене покриття з асфальтобетону, але найменш підходяще для роботи в складних умовах промислових підприємств.

Наукова новизна та практична значимість

Застосовано науковий підхід, який передбачає вибір конструкції дорожнього покриття та раціональних методів будівництва з урахуванням погодних умов, кліматичних та економічних факторів, що впливають на показники якості й зносостійкості покриття дороги та враховують вагомість різних критеріїв для встановлення оптимального варіанту дорожнього покриття для конкретного проекту чи завдання. Так як більшість промислових підприємств являються не державними, а приватними, то і розглядати їх треба з бізнесової точки зору. Модель бізнесу включає в себе етапи проектування, реалізацію будівельних робіт і передбачає послідовність заходів для створення, розвитку і ефективного функціонування промислових пі-

Складемо матрицю відповідності V вище позначеній конструкції дорожнього покриття визначеним умовам. Якщо метод відповідає вимогам, позначаємо 1, не відповідає – 0, частково відповідає – 0,5.

дприємства. Вибір оптимальної конструкції дорожнього покриття дозволить промисловим підприємствам отримувати прибутки в найбільш короткий термін при мінімальних інвестиціях.

Висновки

Використання різних сучасних інноваційних технологій дозволяє підвищити технологічність та економічність будівельного процесу. При цьому терміни будівництва та його якість безпосередньо залежать від впровадження цих технологій на різних етапах будівельної галузі при будівництві чи реконструкції. Метою здійснення інноваційної діяльності промислових підприємств є отримання додаткового прибутку від реалізації інноваційних процесів в будівництві продукції промислового та цивільного призначення шляхом більш повного задоволення потреб споживачів.

Так як більшість промислових підприємств являються не державними, а приватними, то цей фактор був найбільш пріоритетним при виборі типу дорожнього одягу. Основна мета – отримання вигоди в найбільш короткий термін при мінімальних інвестиціях. Тобто, можна розробити модель бізнесу, в якій враховуються витрати на будівництво, на запуск підприємства за чергами або повністю і аналіз результатів. Мінімальні вкладення в даному випадку можливі при улаштуванні покриття з бруківки. І це не тільки вартісні показники, а й технологічні і виробничі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Assessment of the Effectiveness of Pavement Maintenance Treatments (Transportation Research Record, 2021), URL: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/03611981211007846>

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

- Füssl, J., Kluger-Eigl, W., & Blab, R. (2016). Experimental identification and mechanical interpretation of the interaction behaviour between concrete paving blocks. *International Journal of Pavement Engineering*, 17(6), 478-488.
- Hamdy, A. (2023). *Taha Operations Research: An Introduction*, 11th edition Published by Pearson. URL: <https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/operations-research-an-introduction/P200000003221/9780137625727>
- Hengl, H. L., Kluger-Eigl, W., Lukacevic, M., et al. (2018). Horizontal deformation resistance of paving block superstructures – Influence of paving block type, laying pattern, and joint behavior. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 11, 846-860.
- Jeevitha, D. N., Vivekanand, S. G., & Sharma, H. (2022). Damage Detection and Classification of Road Surfaces. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, 10, 4408-4414.
- Li-juan, W., Chang-bin, H., & Zeng-hua, S. (2021). Curling behavior mechanism of cement concrete pavement at early age. *Engineering Mechanics*, 38(10), 215-228.
- Praticò, F., Briante, P. G., & Licitra, G. (2019). *Durability of premium road surfaces*. INTER-NOISE 2019 MADRID - 48th International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering. URL: https://www.researchgate.net/publication/338690308_Durability_of_premium_road_surfaces
- Seyedabrishami, S., Nejad, F. M., & Moghadas Nejad, F. (2020). A comprehensive review of pavement maintenance treatments for different types of distresses. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 13(4), 382-402.
- Yang, F. et al. (2018). Predictive models for asphalt pavement maintenance and rehabilitation. *Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements*, URL: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/JPEODX.0000113>
- Zohdy, S. et al. (2018). Sustainable rehabilitation of asphalt pavements using rejuvenators and recycling agents: A review. *Construction and Building Materials*. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061817318921>
- Безуглий, А. О., Ілляш, С. І., & Тимошук, О. Ю. (2015). Техніко-економічне обґрунтування вибору варіанту конструкції дорожнього одягу. *Дороги і мости*, 15, 27-34.
- Гамеляк, І. П., Дмитриченко, А. М., Нагайчук, В. М., et al. (2020). Особливості технології підсилення дорожніх покриттів шарами цементобетону. *Дороги і мости*, 22, 63-78.
- Гамеляк, І. П., & Карафізі, Л. М. (2016). Досвід впровадження дорожніх покриттів із елементів мощення. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*, 97, 26-41.
- Гамеляк, І. П., & Холоднюк, В. П. (2017). Застосування бетонної бруківки у транспортному будівництві. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*, 101, 3-17.
- ГБН В.2.3-376419118-557:2016 (2016). *Автомобільні дороги. Дорожній одяг жорсткий. Проектування*. Київ: Міністерство інфраструктури України.
- ГБН В.2.3-376419118-559:2019 (2019). *Автомобільні дороги. Дорожній одяг нежорсткий. Проектування*. Київ: Міністерство інфраструктури України.
- Кірічек, О. Ю., Балашова, Ю. Б., Дем'яненко, В. В., & Руденко, К. С. (2016). Застосування ресурсозберігаючих технологій при проектуванні дорожніх одягів автомобільних доріг. *Будівельні конструкції*, 83(2), 637-648.
- Логістика і транспортна безпека (2022): проблеми та перспективи розвитку в контексті аналізу сучасних викликів, загроз; збірник наукових праць за матеріалами Всеукраїнської наукової конференції, 28 жовтня 2022 р. – УДУНТ, Дніпро.
- Матеріали Міжнародної мультидисциплінарної науково-практичної інтернет-конференції молодих дослідників, здобувачів вищої освіти та науковців «Сучасна наука: інновації та перспективи» 6-7 квітня 2023 р., Київ.
- Мозговий, В. В., Куцман, О. М., Баран, С. А., & Боровик, І. І. (2016). Особливості проектування нежорстких дорожніх одягів із застосуванням армованих асфальтобетонних шарів для автомобільних. *Вісник Національного транспортного університету*, 1, 283-216.
- Національна транспортна стратегія України до 2030 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#n13>
- Петренко, О. І., & Пашкович, А. М. (2021). Особливості функціонування сухих портів в Україні. *Збірник наукових праць НУК*, 3, 58-64.

M. KURHAN¹, D. KURHAN², O. LUZHYTSKYI^{3*}, M. HUSAK⁴, S. BAYDAK⁵

¹ Department «Transport Infrastructure», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 48, e-mail m.b.kurhan@ust.edu.ua, ORCID 0000-0002-8182-7709

² Department «Transport Infrastructure», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 48, e-mail d.m.kurhan@ust.edu.ua, ORCID 0000-0002-9448-5269

^{3*} Department «Transport Infrastructure», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryan St., 2, Dnipro,

EVALUATION OF ROAD SURFACE OPTIONS BASED ON THE ANALYTICAL HIERARCHY METHOD

Purpose. The purpose of this work is to conduct a comprehensive analysis of various types of road surfaces, including asphalt concrete, cement concrete, and pavement, with the aim of determining the most optimal option for a specific project based on criteria of productivity, durability, cost, and environmental impact. **Methodology.** The methodology involves the selection of construction materials and rational construction methods, taking into account weather conditions, climatic factors, and economic factors that influence the quality and durability of road surfaces. To evaluate road surface options while considering the importance of various criteria, the Analytical Hierarchy Method (AHP) is utilized. The process includes creating a hierarchy of criteria, assessing their significance, pairwise comparative analysis, calculating weight coefficients, and evaluating alternatives. Based on this analysis, the optimal road surface option is determined for a specific project or task. **Findings.** At this stage of the decision-making process involving the comparison of road constructions, we considered ten primary requirements and three widely used types of road surfaces: asphalt concrete, cement concrete, and pavement. Through a comprehensive analysis of various road surface options, the most optimal choice for a specific project was determined based on criteria of productivity, durability, cost, and environmental impact. **Originality.** A scientific approach was employed, which involved the selection of road surface construction and rational construction methods, taking into account weather conditions, climatic factors, and economic factors influencing the quality and durability of the road surface. This approach also considered the significance of various criteria to determine the optimal road surface option for a specific project or task. **Practical value.** The business model encompasses the stages of project design, implementation of construction work, and outlines a sequence of steps for creating, developing, and ensuring the efficient operation of industrial enterprises. The selection of the optimal road surface construction allows industrial enterprises to generate profits in the shortest possible time with minimal investments.

Keywords: road surface, lifecycle, durability, climatic conditions, road safety

REFERENCES

- Assessment of the Effectiveness of Pavement Maintenance Treatments (Transportation Research Record, 2021), URL: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/03611981211007846> (in English)
- Füssl, J., Kluger-Eigl, W., & Blab, R. (2016). Experimental identification and mechanical interpretation of the interaction behaviour between concrete paving blocks. *International Journal of Pavement Engineering*, 17(6), 478-488. (in English)
- Hamdy, A. (2023). *Taha Operations Research: An Introduction*, 11th edition Published by Pearson. URL: <https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/operations-research-an-introduction/P200000003221/9780137625727> (in English)
- Hengl, H. L., Kluger-Eigl, W., Lukacevic, M., et al. (2018). Horizontal deformation resistance of paving block superstructures – Influence of paving block type, laying pattern, and joint behavior. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 11, 846-860. (in English)
- Jeevitha, D. N., Vivekanand, S. G., & Sharma, H. (2022). Damage Detection and Classification of Road Surfaces. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, 10, 4408-4414. (in English)
- Li-juan, W., Chang-bin, H., & Zeng-hua, S. (2021). Curling behavior mechanism of cement concrete pavement at early age. *Engineering Mechanics*, 38(10), 215-228. (in English)
- Praticò, F., Briante, P. G., & Licitra, G. (2019). *Durability of premium road surfaces*. INTER-NOISE 2019 MADRID - 48th International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering. URL: https://www.researchgate.net/publication/338690308_Durability_of_premium_road_surfaces (in English)
- Seyedabrishami, S., Nejad, F. M., & Moghadas Nejad, F. (2020). A comprehensive review of pavement maintenance treatments for different types of distresses. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 13(4), 382-402. (in English)
- Yang, F. et al. (2018). Predictive models for asphalt pavement maintenance and rehabilitation. *Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements*, URL: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/JPEODX.0000113> (in English)

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

lish)

Zohdy, S. et al. (2018). Sustainable rehabilitation of asphalt pavements using rejuvenators and recycling agents: A review. *Construction and Building Materials*. URL:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061817318921> (in English)

Bezuhlyi, A. O., Illiash, S. I., & Tymoshchuk, O. Yu. (2015). Tekhniko-ekonomichne obgruntuvannya vyboru variantu konstruktiv dorozhnogo odiahu. *Dorohy i mosty*, 15, 27-34. (in Ukrainian)

Hameliak, I. P., Dmytrychenko, A. M., Nahaichuk, V. M., et al. (2020). Osoblyvosti tekhnologii pidsylennia dorozhnikh pokryttiv sharamy tsementobetonu. *Dorohy i mosty*, 22, 63-78. (in Ukrainian)

Hameliak, I. P., & Karafizi, L. M. (2016). Dosvid vprovadzhennia dorozhnikh pokryttiv iz elementiv moshchennia. *Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo*, 97, 26-41. (in Ukrainian)

Hameliak, I. P., & Kholodniuk, V. P. (2017). Zastosuvannia betonnoi brukivky u transportnomu budivnytstvi. *Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo*, 101, 3-17. (in Ukrainian)

HBN V.2.3-376419118-557:2016 (2016). *Avtomobilni dorohy. Dorozhnii odiah zhorstkyi. Proektuvannia*. Kyiv: Ministerstvo infrastruktury Ukrainy. (in Ukrainian)

HBN V.2.3-376419118-559:2019 (2019). *Avtomobilni dorohy. Dorozhnii odiah nezhorstkyi. Proektuvannia*. Kyiv: Ministerstvo infrastruktury Ukrainy. (in Ukrainian)

Kirichek, O. Yu., Balashova, Yu. B., Demianenko, V. V., & Rudenko, K. S. (2016). Zastosuvannia resursozberihaiuchykh tekhnologii pry proektuvanni dorozhnikh odiahiv avtomobilnykh dorih. *Budivelni konstruktiv*, 83(2), 637-648. (in Ukrainian)

Lohistyka i transportna bezpeka (2022): problemy ta perspektyvy rozvytku v konteksti analizu suchasnykh vyklykiv, zahroz; zbirnyk naukovykh prats za materialamy Vseukrainskoi naukovoï konferentsii, 28 zhovtnia 2022 r. – UDUNT, Dnipro. (in Ukrainian)

Materialy Mizhnarodnoi multydystryplinarnoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii molodykh doslidnykiv, zdobuvachiv vyshchoi osvity ta naukovtsiv «Suchasna nauka: innovatsii ta perspektyvy» 6-7 kvitnia 2023 r., Kyiv. (in Ukrainian)

Mozghovyi, V. V., Kutsman, O. M., Baran, S. A., & Borovyk, I. I. (2016). Osoblyvosti proektuvannia nezhorstkykh dorozhnikh odiahiv iz zastosuvanniam armovanykh asfaltobetonnykh shariv dlia avtomobilnykh. *Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu*, 1, 283-216. (in Ukrainian)

Natsionalna transportna stratehiia Ukrainy do 2030 r. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#n13> (in Ukrainian)

Petrenko, O. I., & Pashkovich, A. M. (2021). Osoblyvosti funktsionuvannia sukhykh portiv v Ukraini. *Zbirnyk naukovykh prats NUK*, 3, 58-64. (in Ukrainian)

Надійшла до редколегії 15.09.2023.

Прийнята до друку 16.10.2023.