

УДК 625.7/.8
UDC 625.7/.8

DOI:10.33744/0365-8171-2026-119-199-212

**ЕФЕКТИВНІСТЬ ВІДНОВЛЕННЯ ЦЕМЕНТОБЕТОННОГО ДОРОЖНЬОГО ПОКРИВУ ПРИ
ВИКОРИСТАННІ ШАРІВ ЗНОШУВАННЯ**

**EFFICIENCY OF RESTORATION OF CEMENT CONCRETE ROAD SURFACE USING
WEARING LAYERS**



Гамеляк Ігор Павлович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Системного проектування об'єктів транспортної інфраструктури та геодезії», Національний транспортний університет. Київ, Україна, e-mail: gip65n@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-9246-7561>



Журавський Дем'ян Леонардович, начальник лабораторії, ДП ШРБУ №100, Київ, Україна e-mail: kievizol@ukr.net

<https://orcid.org/0000-0003-2277-4333>

Анотація. У роботі проаналізовано міжнародний та вітчизняний досвід експлуатації цементобетонних покриттів (ЦБП) із застосуванням різних технологій улаштування шарів зношування. Розглянуто техніко-економічну ефективність методів Slurry Seal, Microsurfacing, ЩМА та ультратонких покриттів. Встановлено, що превентивне утримання є у 1,4 - 1,7 раз дешевшим за капітальний ремонт. Оцінено вплив ремонту на деградацію стану існуючого покритву та довговічність відновлених ділянок.

Ключові слова: цементобетонний покритв, шар зношування, мікропокритв, slurry seal, ефективність, ремонт, довговічність, поверхнева обробка, холодний асфальтобетон, тонкошаровий покритв.

Вступ. Цементобетонні дорожні покриття характеризуються високою несучою здатністю та довговічністю, проте в процесі експлуатації зазнають впливу транспортних навантажень, температурних коливань і водонасичення, що призводить до поступової деградації їх поверхневого шару. Найбільш ефективним способом запобігання розвитку дефектів є застосування шарів зношування, які виконують функції герметизації, підвищення зчеплення, відновлення рівності та захисту конструкції від зовнішніх впливів. Використання таких технологій дозволяє перейти від капітальних ремонтів до системи превентивного утримання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Експлуатація автомобільних доріг із цементобетонним покриттям супроводжується поступовим зниженням їхніх транспортно-експлуатаційних показників під дією інтенсивного руху та кліматичних чинників. Найбільш ефективним способом запобігання деградації ЦБП є влаштування тонких захисних шарів зносу, що дозволяє відновити шорсткість, рівність та водонепроникність поверхні. У світовій практиці питання застосування шарів зношування розглядаються в нормативних документах США (FHWA, AASHTO), країн ЄС (EN), Австралії (Austroads). Дослідження показують, що тонкошарові та ультратонкі покриття забезпечують суттєве підвищення експлуатаційних характеристик без зміни конструкції дорожнього одягу.

Міжнародна практика (США, ЄС, Австралія) розглядає шар зносу як функціональний поверхневий елемент, а не лише як конструктивний шар [1-15].

Досвід США (FHWA) базується на концепції *Pavement Preservation* — раннього втручання для подовження терміну служби. Основними методами є алмазне шліфування, улаштування тонких шарів НМА та мікропокриттів [1-15].

Європейський досвід орієнтований на низькошумні покриття, зокрема технологію *Exposed Aggregate Concrete* (ЕАС) — бетон з оголеним заповнювачем [1-15].

У результаті порівняльного аналізу встановлено, що в США та Австралії переважає експлуатаційно-орієнтований підхід, тоді як в Україні зберігається конструктивно-орієнтована модель, що потребує гармонізації з нормами ЄС та США [1-15].

Економічний аналіз при порівнянні стратегій утримання протягом 40-річного циклу демонструє суттєву перевагу превентивних методів. Капітальний ремонт/реконструкція в США (через 15–20 років) коштує близько 640 000 дол. на одиницю виміру. Система превентивних ремонтів коштує 364 000 дол., що в 1,64 раза дешевше. Вкладений 1 долар у превентивне утримання економить від 4 до 10 доларів на майбутній реконструкції [1-15].

В Україні актуальність цього питання зумовлена відсутністю сталої системи попереджувальних ремонтів, що призводить до передчасного руйнування дороги та високих витрат на капітальний ремонт та реконструкцію. Наразі питання застосування технологій превентивних ремонтів висвітлено недостатньо, що зумовлює необхідність проведення системних досліджень.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є оцінка ефективності відновлення цементобетонних покриттів із застосуванням шарів зношування та обґрунтування рекомендацій щодо їх використання. **Для досягнення мети поставлено такі завдання:**

- проаналізувати сучасні технології шарів зношування;
- дослідити їх експлуатаційну ефективність;
- виконати порівняльний аналіз;
- визначити економічну доцільність застосування.

Виклад основного матеріалу. Класифікація технологій шарів зношування

У сучасній практиці застосовуються два підходи до відновлення транспортно-експлуатаційних характеристик цементобетонних покриттів (рис. 1):

1. Відновлення поверхневих властивостей без зміни конструкції;
2. Улаштування нового тонкого шару зношування.

До основних технологій першого напрямку належать: розпилення емульсій (Fog Seal) або олій (Reclamite®); поверхнева обробка (Chip Seal); ультратонкошарові покриття.

Для реалізації другого напрямку улаштовують: тонкошарові асфальтобетонні покриття із гарячого, холодного асфальтобетону або із щебенево – мастикового асфальтобетону; мікропокриття із литих емульсійно-мінеральних сумішей на модифікованих бітумах (Microsurfacing); та шламкові емульсійно-мінеральні покриття (Slurry Seal).

Поверхневі обробки. Розпилення емульсій є найбільш простим методом, який забезпечує герметизацію мікротріщин і захист від вологи. Подовження терміну служби становить 2–4 роки. Reclamite® – це обробка асфальтобетону оліями. Вона поповнює важливі сполуки, які випарувалися протягом перших кількох років експлуатації, і зменшує розтріскування **поверхні**. Дослідження показують, що це продовжує термін служби асфальтобетону поверх цементобетону на 5 років, і є дуже економічно ефективною обробкою.

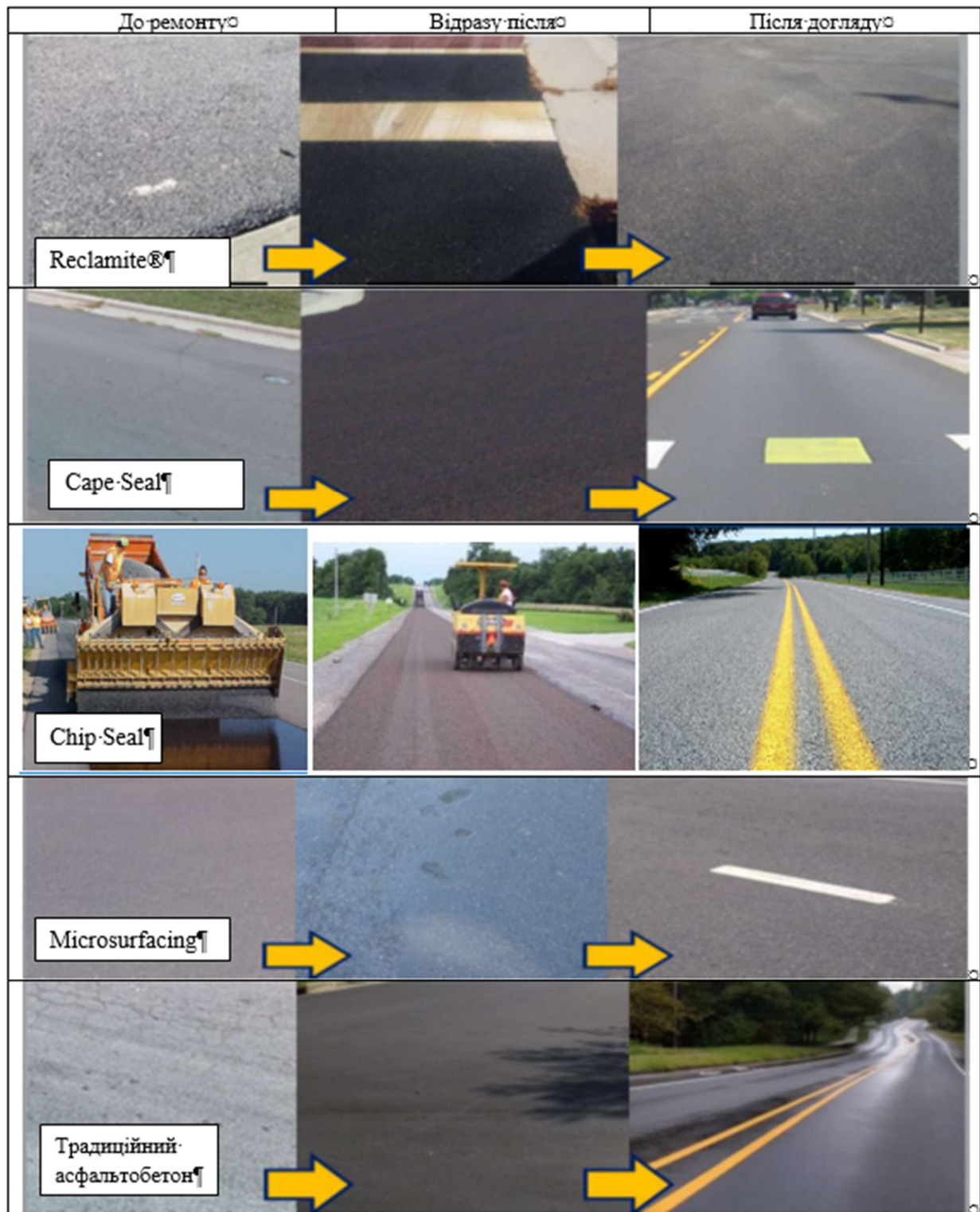


Рисунок 1 – Методи відновлення транспортно-експлуатаційних характеристик цементобетонних покриттів

Figure 1 – Methods for restoring the transport and operational characteristics of cement concrete pavements

Розпилення емульсій (Fog Seal) - це один із найпростіших та економічних методів. Основні ефекти: герметизація мікротріщин; зменшення проникності; відновлення поверхневої міцності. Термін подовження служби становить 2–4 роки залежно від стану покриття.

Технологія Chip Seal дозволяє підвищити шорсткість поверхні, підвищити водонепроникність та забезпечує подовження терміну служби на 5–7 років.

Гарячий ресайклінг на місці (Hot In-Place Recycling HIR) або Змішування на всю глибину (Full Depth Reclamation FDR) або Холодний ресайклінг на місці (Cold In-Place Recycling CIR) або + поверхнева обробка типу Чіп Сіл - ця комбінована обробка використовується переважно для захисту переробленої суміші або регенованої поверхні від проникнення поверхневої вологи. Поверхневі обробки з дрібними частинками зазвичай використовуються як варіант поверхні на дорогах з низькою інтенсивністю руху.

Очікування від поверхневої обробки прості: герметизувати тріщини та запобігти проникненню води в конструкцію дорожнього покриття. Це подовжить термін служби дорожнього покриття на 5-10 років залежно від його стану, часу проведення обробки та матеріалів, що використовуються в будівництві (табл. 1).

Поширені комбінації поверхневої обробки з іншими сучасними технологіями ремонту (рис. 2).

Поверхнева обробка покриття є найефективнішою, коли її встановлюють у потрібний час на потрібній дорозі та з дотриманням правильних будівельних практик. На успіх відколів поверхневої обробки зазвичай впливають такі фактори: стан дорожнього покриття, погода, дорожній рух, вибір матеріалів, калібрування обладнання, найкращі будівельні практики та належний огляд.

Таблиця 1 – Терміни служби поверхневих обробок
Table 1 – Service life of surface treatments

Показники	Оптимальна продуктивність	Середня продуктивність	Продуктивність тимчасового проміжку
Стан дорожнього покриття	Б	В	В
Стан PCI	80	60	40
Термін служби	7-10 років	3 - 5 років	1 - 3 роки

Примітка. Б – відповідає стану покриття з оцінкою PCI від 75 – до 85 (добрий); В – при PCI від 55 – до 65 (дуже поганий).

Щоб збільшити шанси на успіх ремонту поверхневою обробкою, найкращою практикою було б провести коротке навчання перед початком проєктів для підрядника та представника агентства, відповідального за ремонт, щоб переконатися, що всі розуміють ситуацію однаково.

Технологічні особливості шарів зносу [16 - 31].

Для відновлення ЦБП використовують кілька основних груп матеріалів:

Литі емульсійно-мінеральні суміші (ЛЕМС): *Slurry Seal* та *Microsurfacing*. Остання технологія відрізняється використанням полімер-модифікованої емульсії, що забезпечує швидке тверднення (менш ніж за 1 годину) та можливість вирівнювання колії до 25 мм. Мікропокриви - ці технології є найбільш перспективними для цементобетонних покриттів. Основні характеристики: товщина шару: 5–15 мм; полімер-модифіковані емульсії; висока адгезія до основи; швидке твердіння. Ефективність: продовження терміну служби: 6–10 років; підвищення коефіцієнта зчеплення; можливість вирівнювання колій.

Щебенево-мастиковий асфальтобетон (ЩМА): Характеризується високою зносостійкістю та стабільністю завдяки жорсткому кам'яному каркасу.

Тонкошарові покриття (TashP): Включають холодні технології (наприклад, *RoadPave*), які можна укладати за температури від +5°C навіть на вологий покриття.

	<p>Герметизація тріщин + поверхнева обробка [18]: коли тріщини в існуючій поверхні перевищують 1/4 дюйма завширшки, їх герметизація перед відколив поверхнева обробка допоможе запобігти проникненню води глибше в конструкцію дорожнього покриття після того, як тріщини відображаються крізь нову зношувану поверхню.</p>
	<p>Подвійні та потрійні поверхневі обробки (ПО) [18]: Багатошарові ПО використовуються, коли потрібна більша довговічність. Такі покриття забезпечують менше шуму від транспорту, додаткову гідроізоляцію та є міцнішими покриттями порівняно з одношаровими. Ефективні в умовах високого навантаження, таких як ділянки з високим відсотком вантажного руху або на крутих схилах.</p>
	<p>Поверхнева обробка з розпилюванням Ця комбінована обробка використовується для блокування будь-якого пухкого заповнювача та надання ущільнювачу від тріщин гарного естетичного вигляду. Крім того, ця комбінація забезпечує розмежування смуг, що може бути перевагою для безпеки.</p>
	<p>Підгрунтовка із модифікованого бітуму + гаряча асфальтобетонна суміш (SAMІ - проміжний шар мембрана, що поглинає напругу) - комбінована обробка використовується для уповільнення швидкості відображеного розтріскування в нових асфальтобетонних покриттях. Зазвичай вона складається з модифікованого в'язучого матеріалу для ущільнення тріщин з заповнювачем, а потім зверху укладається асфальтобетонний покриття.</p>
	<p>Ремонт тріщин + шлам (Сларрі Сіл) або мікропокрив для існуючих покриттів з тріщинами більше 3 - 5 мм, оптимально для використання лише шламового ущільнювача, нанесення мастики при ремонті тріщин перед шламовим ущільнювачем діє як проміжний шар, що поглинає напругу, ретельніше герметизуючи тріщини та затримуючи повторну появу відображених тріщин</p>

Рисунок 2 – Комбіновані методи відновлення цементобетонних покриттів

Figure 2 – Combined methods for restoring cement concrete surfaces

Ефективність відновлення: результати досліджень

Дослідження на ділянках АД «Харків – Сімферополь» та в Чернігівській області показали:

Міцність та модуль пружності: Улаштування тонкошарового покриття (2–3 см) підвищує загальний модуль пружності на 5–19% лише за умови повного зчеплення з основою.

Термін служби: Для ЦБП оптимальний термін служби мікропокриття становить 6–8 років, ЩМА — 7–10 років, тоді як звичайна поверхнева обробка (Chip Seal) ефективна протягом 3–5 років.

Стан покриття (PCI): Найвища ефективність превентивних заходів досягається при індексі стану покриття (PCI) понад 60. Нанесення шару зносу при PCI 50–80 дає приріст показника на 10–20 пунктів.

Тонкошарові асфальтобетонні покриття забезпечують: відновлення експлуатаційних характеристик; підвищення коефіцієнта зчеплення; відновлення текстури; захист від проникнення вологи. Переваги: швидке введення в експлуатацію (1–4 години); зниження витрат до 30–40%; зменшення енергоспоживання та викидів CO₂.

За результатами спостережень у процесі експлуатації зафіксовано покращення зчеплення на 20–40%; зниження водопроникності; збільшення міжремонтного періоду на 30–60%. Ефективність визначається за такими показниками: довговічність; економічність; технологічність; екологічність; експлуатаційні характеристики. Напрями удосконалення технологій полягають у розробленні спеціалізованих сумішей для ЦБП; використання полімер-модифікованих емульсій; впровадження 3D-методів оцінки стану покриття; адаптація міжнародних стандартів; розвиток нормативної бази.

В Україні застосування шарів зношування знаходиться на стадії активного розвитку. Основні проблеми пов'язані з недостатнім використанням превентивних ремонтів; обмеженою нормативною базою; високою вартістю сучасних матеріалів; відсутністю системних досліджень та відсутністю кваліфікованих спеціалістів.

Досвід експлуатації тонкошарового покриття, із холодного асфальтобетону RoadPave для ремонту покриттів автомобільних доріг

У рамках виконання науково-дослідної роботи за договором від 30 вересня 2025 р. № 63 “Провести дослідження щодо улаштування шарів зносу цементобетонного дорожнього покриття” запропоновано тонкошаровий покриття із високощербенистої холодної асфальтобетонної суміші, використання якого забезпечить відсутність перерахованих вище недоліків вже відомих поверхневих обробок та шарів зношування. Дослідне улаштування покриття виконувалося 08 жовтня 2025 року.

Місце виконання робіт: Київська область, Сквирський район, автомобільна дорога Руда-Великополовецьке. с. Руда, по вул. Імріха Лисака ліва сторона дороги перед поворотом на вул. Залізничну, Координати 49.796126, 29.856891.

Погодні умови: температура повітря при улаштуванні покриття від +10°C до +14°C. Холодна волога погода, похмуро, сухий покриття, за день перед улаштуванням йшли сильні дощі.

Приготування та склад суміші: приготування суміші здійснювалося на асфальтобетонному заводі ДС-117. Суміш матеріалу фр. 0-10 мм перемішувалася навантажувачем та засипалася у бункер для подачі на завод. Матеріал був дуже вологим та мав температуру 11°C. На заводі матеріал підігрівався до необхідної температури. Температура суміші при виході із змішувача становила 35°C. Матеріал вивантажувався на асфальтовану площадку для накопичення.

Для виготовлення суміші використовувався бітум розріджений марки СГ 70/130 із комплексом спеціальних домішок ПАР.

Улаштування покриття: температура суміші при укладанні становила 14°C. Температура поверхні існуючого шару асфальтобетону + 14°C. Дорога зруйнована тріщинами, сіткою тріщин та невеликими вибоїнами. Суміш доставлялася на ділянку дороги за допомогою навантажувача. Ділянка дороги підміталася вручну щітками.

Укладання суміші виконувалась вручну, суміш лопатами укладалася на покриття та за допомогою гладилки для асфальтобетонної суміші, розрівнювалася товщиною 15-20 мм, Ущільнення

виконувалося за допомогою автомобіля ГАЗ-3302 «Газель» вагою 2150 кг, зроблено 5 ... 7 проходів по одному сліду.

Рух транспорту відкривався одразу після закінчення ущільнення. Швидкість транспорту який рухався по новому покритву складала 60 ... 80 км/год. Швидкість руху транспорту не обмежувалася дорожніми знаками.

Областю застосування високо щебеністого холодного асфальтобетону є влаштування верхнього шару полотна мостових споруд та підходів до них, влаштування захисних шарів автомобільних доріг, міських вулиць та доріг.

Ефективність: перевагами високощебеністого холодного асфальтобетону є: висока зсувостійкість; висока стійкість до стирання; зниження рівня шуму (особливо актуально у межах міста); високе зчеплення колеса з покритвом; зниження ефекту аквапланування; додаткова гідроізоляція; укладання в холодному стані; укладання на вологий покритв; температура застосування від +5°C; можливість влаштування покритву в дощову погоду; перевезення суміші на великі відстані, можливість накопичення у Бігбегах та на складі; суміш придатна до застосування протягом декількох днів після виготовлення; застосовується для поверхневої обробки дорожніх бетонних плит; укладання шаром товщиною від 10 мм.

Для вивчення можливості застосування такої технології розроблено склад холодного високощебеністого асфальтобетону (ХВЩА) на бітумах МГ, СГ із застосуванням ПАР. Даний асфальтобетон поєднує в собі властивості щебенево-мастичного та литого асфальтобетонів і має високі експлуатаційні властивості в умовах інтенсивного руху з великим навантаженням та руху громадського транспорту.

Укладання високощебеністого асфальтобетону здійснюється за допомогою стандартного обладнання як при укладанні гарячих асфальтобетонних сумішей. Застосовуються звичайні асфальтоукладачі без доробок для укладання суміші. Для укочування застосовуються пневматичні котки. Товщина шару укладання 10-15 мм.

Суміш практично витікала із кузова при вивантаженні. Зерновий склад та вміст бітуму наведено у табл. 2.

Для виготовлення суміші застосовувався бітум рідкий марок СГ 40/70, СГ 70/130, СГ 130/200 згідно ГОСТ 11955-82 або БСГР 40/70, БСГР 70/130, БСГР 130/200 згідно СОУ 45.2-00018112-036:2009 [32] із домішками катіонових ПАР. Дослідна партія виготовлялася на стандартному АБЗ по технології гарячого асфальтобетону із мінімальним підігрівом матеріалів до температури +30-40°C. Матеріал поступав у мішалку із невеликою вологістю. Перемішування відбувалося протягом однієї хвилини. Температура бітуму при подачі у мішалку становила 90-95°C. Суміш після виготовлення була однорідна та блискуча. За своїми технологічними властивостями вона займала проміжне положення між гарячим асфальтобетоном та литим асфальтобетоном.

Таблиця 2 – Зерновий склад холодної високощебеністої асфальтобетонної суміші та вміст бітуму

Table 2 – Grain composition of cold high-crushed asphalt concrete mix and bitumen content

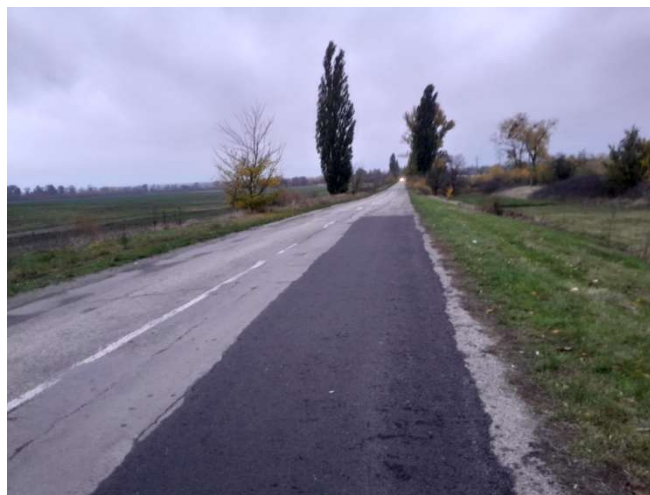
ХВЩА	Вміст за масою, % зерен, менших даного розміру, мм								Вміст бітуму, %
	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071	
	95,0	43,0	25,1	15,2	10,3	8,6	4,6	2,0	6,2
Вимоги	90-100	20-55	5-30	0-17	0-14	0-12	0-9	0-4	5,0-7,0

На наступний день були влаштовані дослідні ділянки на дорогах із малою інтенсивністю руху. Умови влаштування та фото через 0,5 року експлуатації наведені на рис. 3.

Економічна ефективність. Досвід США демонструє, що: найбільш ефективними є ранні втручання; тонкі шари посилення та мікропокриви (thin overlay та micro-surfacing) мають найкраще співвідношення ефективність/вартість для НМА; для РСС найбільш ефективні partial-depth repair та алмазне шліфування поверхні (diamond grinding); системність PMS є ключовим фактором економії бюджетних коштів.



а) вигляд стику між стрим покритвом та новим шаром холодного асфальтобетону



б) загальний вигляд ділянки через пів року експлуатації

Рисунок 3 – Вигляд влаштованої дослідної ділянки із холодної високощербенистої асфальтобетонної суміші

Figure 3 – View of the constructed experimental area from cold high-crushed asphalt concrete mix

Ефективності поточних ремонтів покриттів у США узагальнено за рекомендаціями Federal Highway Administration, American Association of State Highway and Transportation Officials та National Center for Pavement Preservation; значення є типовими інтервалами для мережі доріг штатів США [15 - 31] (порівняльні таблиці (3 – 4)).

Таблиця 3 — Ефективність ремонтів (асфальтобетонні покриття НМА)

Table 3 — Repair efficiency (HMA asphalt concrete pavements)

Метод ремонту (Treatment)	Діапазон PCI до ремонту	Зміна PCI після ремонту	Строк служби, роки (мін–сер–макс)	Орієнтовна вартість, \$/м ²	Ефективність (В/С)
Crack Sealing	60–85	+5...+10	3 – 4 – 5	2–5	4–6
Fog Seal	70–90	+3...+8	2 – 3 – 4	1–3	3–5
Chip Seal	55–80	+8...+15	5 – 6 – 7	5–10	3–6
Slurry Seal	60–85	+8...+15	4 – 5 – 6	6–12	3–5
Micro-surfacing	50–80	+10...+20	6 – 7 – 8	8–15	4–7
Тонкошарове асфальтобетонне Thin HMA Overlay (25–40 мм)	40–75	+15...+30	8 – 10 – 12	15–30	3–5

Примітка: PCI — Pavement Condition Index (0–100). Вартість наведена орієнтовно у цінах США (без урахування регіональних коливань).

Узагальнений аналіз ефективності. Найвищий економічний ефект (для мережі доріг) при влаштуванні заповнення тріщин (Crack sealing) + мікропокриття (Micro-surfacing) (табл. 4).

Для аналізу зміни деградації технічного стану цементобетонного покриття без ремонту та після його виконання використовують математичні моделі експоненційного або степеневого виду.

У першій моделі використано експоненційну функцію типу:

$$PCI = PCI_0 \cdot e^{-kt}, \tag{1}$$

Така функція дає увігнуту криву яка показує швидке падіння на початку та поступове сповільнення деградації, що характерне для зміни деформативності дорожнього покриття.

Таблиця 4 – Ефективність ремонтів (цементобетонні покриття РСС)

Table 4 – Repair efficiency (PCC cement concrete coatings)

Метод ремонту (Treatment)	Діапазон PCI до ремонту	Зміна PCI після ремонту	Строк служби, роки (мін–сер–макс)	Орієнтовна вартість, \$/м ²	Ефективність (В/С)
Joint Resealing	65–90	+5...+10	5 – 7 – 10	3–7	3–5
Partial-Depth Repair (PDR)	45–75	+15...+25	10 – 12 – 15	40–80	2–4
Full-Depth Repair (FDR)	30–60	+25...+40	15 – 20 – 25	150–300	1,5–3
Diamond Grinding	50–80	+10...+20 (та ↓IRI 40–60%)	8 – 10 – 15	20–40	3–6
Dowel Bar Retrofit (DBR)	40–70	+15...+30	10 – 15 – 20	40–90	2–5

На рис. 4 побудовано графік кривої деградації РСС з та без шару зношування.

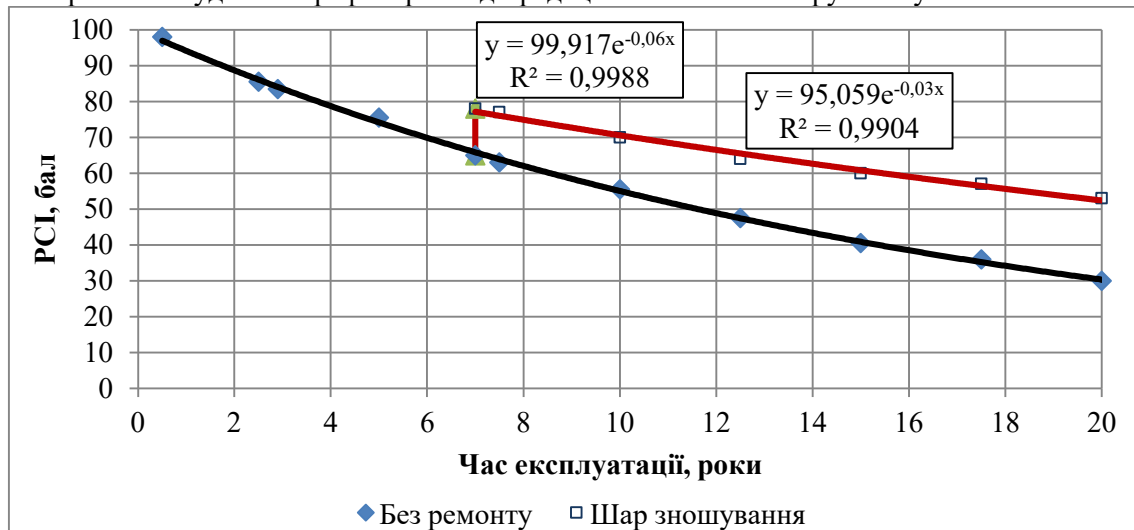


Рисунок 4 – Криві деградації РСС за моделлю 1: нижня крива — деградація без втручання; верхня крива — влаштування шару зношування на 7-му році (приріст PCI ≈ +10 та зменшення швидкості деградації)

Figure 4 – PCC degradation curves according to model 1: lower curve – degradation without intervention; upper curve – installation of a wear layer at year 7 (PCI increase ≈ +10 and decrease in degradation rate)

Однак у більшості публікацій (у тому числі у матеріалах FHWA та схемі деградації для втоми застосовується степенева модель:

$$PCI = PCI_0 - a \cdot t^b, \quad b > 1, \quad (2)$$

Така залежність формує випуклу криву, яка має повільну деградацію на початку та різке прискорення після досягнення “критичної зони”; катастрофічне зростання витрат після $PCI \approx 50-60$.

Саме така форма відповідає реальній поведінці жорстких покриттів при врахуванні явища втоми. Графік зміни деградації покриття (рис. 5) показує: для зміни балу бетонного покриття без ремонту — випукла крива, з прискоренням руйнування після 8–10 років. При влаштуванні тонкошарового покриття Сларрі Сіл (на 7 рік) спостерігається приріст $\approx +8$ балу PCI, зменшення швидкості деградації незначне, а продовження служби становить $\approx 3-4$ роки.

При влаштуванні мікропокриття (те ж на 7 рік) приріст становить $\approx +15$ PCI, спостерігається суттєвіше зменшення темпу деградації, а подовження терміну служби $\approx 5-7$ років. Для цементобетонних покриттів (РСС): ефект шару зносу проявляється не тільки у “вертикальному піднятті” PCI, а й у зміні похідної деградації (зменшенні темпу зносу).

Саме ця зміна похідної формує економічний ефект в довготривалій перспективі за 40 років експлуатації (LCCA).

Висновки. Шари зношування є ефективним засобом продовження терміну служби цементобетонних покриттів. Найбільш ефективними є мікропокриття та тонкошарові покриття. Превентивні ремонти забезпечують значне зниження витрат життєвого циклу. Ефективність залежить від стану покриття та якості виконання робіт. Необхідне вдосконалення нормативної бази України з урахуванням міжнародного досвіду. Впровадження сучасних технологій забезпечить підвищення довговічності дорожньої мережі.

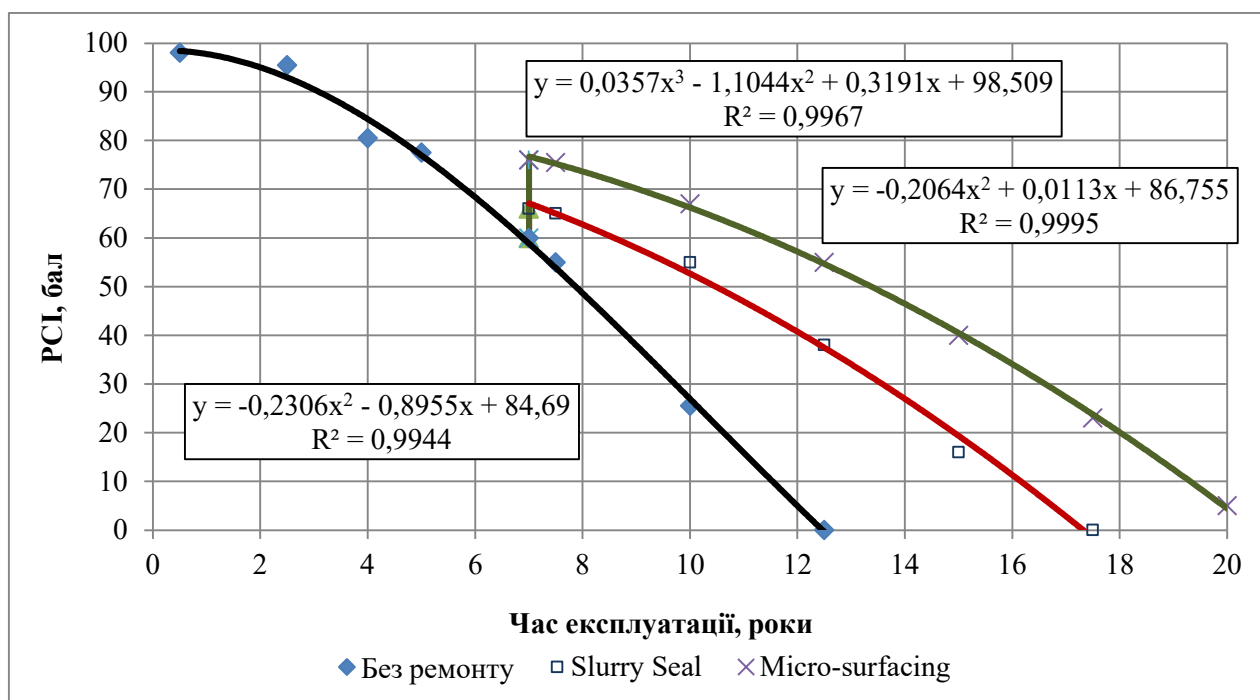


Рисунок 5 – Криві деградації РСС за моделлю 2
Figure 5 – PCC degradation curves according to model 2

У 2025–2026 роках проведено випробування холодного високощербеного асфальтобетону Road Pave у Київській області. Суміш укладалася шаром 15 мм за температури повітря $+10^\circ\text{C}$ на вологий бетонний покриття. Через два тижні експлуатації стан ділянки оцінено як відмінний, вильоту щебеню не зафіксовано. Це підтверджує можливість використання холодних технологій для оперативного захисту бетонних плит.

Основні фактори ефективності: технічний стан покриття; інтенсивність руху; кліматичні умови; якість матеріалів та технологія виконання робіт. Економічна ефективність застосування шарів зношування полягає у зменшенні витрат на 35–45%; відтермінуванні капітального ремонту від 2 – 4 до 10 – 15 років; підвищенні ефективності використання обмежених ресурсів.

Наукова новизна полягає у встановленні залежності ефективності шарів зношування від: стану покриття; типу технології; складу суміші. Обґрунтовано доцільність застосування мікропокривів як оптимального рішення для цементобетонних покриттів.

Практичне значення отриманих результатів полягає у використанні використанні при розробленні нормативних документів; у практиці експлуатації автомобільних доріг та при плануванні ремонтних заходів в системі СУСП чи НДМ.

Найбільш перспективним напрямом для України є розробка складів холодних сумішей із підвищеною адгезією, уточнення вимог ДСТУ щодо поверхневих обробок, розріджених бітумів, холодних асфальтобетонних сумішей, превентивного утримання ЦБП та підготовка кваліфікованих кадрів фахівців - дорожників здатних відповідати рівню сучасних технологій.

Перелік посилань

1. Asphalt Institute. MS-17 Asphalt Overlays for Highway and Street Rehabilitation. Lexington: Asphalt Institute, 2014.- 152 p.
2. AASHTO. Pavement Management Guide. 2nd ed. Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials, 2012. - 263 p.
3. ASTM D-2995-23. Standard Practice for Estimating Application Rate and Residual Application Rate of Bituminous Distributors, 2023. DOI: 10.1520/D2995-23
4. ATS 3550 Diamond Grinding of Concrete Pavement / Austroads Test Methods. – Sydney: Austroads, 2019. – 22 с. URL: <https://austroads.com.au/publications/test-methods/ats-3550>.
5. ACPA. Thin Concrete Overlays for Pavement Preservation. Skokie: American Concrete Pavement Association, 2014.- 48 p.
6. Concrete Pavement Preservation Guide. – Washington: Federal Highway Administration, 2014. – 64 с. URL: <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/concrete/pubs/hif14004.pdf>.
7. Concrete Pavement Preservation, Maintenance and Rectification. – Sydney: Concrete Pavements Australia, 2022. – 30 с. URL: <https://concretepavements.com.au/wp-content/uploads/2022/10/Pavement-Note-004-Concrete-Pavement-Preservation-Maintenance-and-Rectific>.
8. Concrete Pavements for Low Noise Performance that Lasts. – Brussels: EUPAVE, 2016. – 16 с. URL: <https://www.eupave.eu/wp-content/uploads/eupave-leaflet-low-noise-concrete-pavements.pdf>.
9. Diamond Grinding of Concrete Pavements. – Washington: Federal Highway Administration. – 24 с. URL: <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/concrete/diamond.pdf>.
10. EN 12271:2006. Surface dressing — Requirements. Brussels: European Committee for Standardization, 2006. 34 p..
11. EN 12273:2008. Slurry surfacing — Requirements. Brussels: European Committee for Standardization, 2008. 30 p.
12. Guide to Concrete Road Pavements (BP64). – Brussels: EUPAVE; BRITPAVE, 2014. – 52 с. URL: <https://www.eupave.eu/wp-content/uploads/BP64-Guide-to-Concrete-Road-Pavements-BRITPAVE.pdf>.
13. Harrington D., Fick G. Guide to Concrete Overlays. 3rd ed. Skokie: American Concrete Pavement Association, 2014.- 196 p.
14. International Slurry Surfacing Association (ISSA). Slurry Seal Handbook. Revised edition. Annapolis, 2010. 312 p.
15. Next Generation Concrete Surface White Paper / American Concrete Pavement Association. – Washington: ACPA, 2017. – 28 с. URL: https://www.acpa.org/wp-content/uploads/2019/02/Celebrating_Next_Generation_Concrete_Surfaces_White_Paper.pdf.

16. Ergun, Murat & Iyınam, Sukriye & Iyınam, A.. (2005). Prediction of Road Surface Friction Coefficient Using Only Macro and Microtexture Measurements. *Journal of Transportation Engineering* 2005-04-01 131(4): 311-319. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(2005\)131:4\(311\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(2005)131:4(311))
17. FHWA. *Guide for Concrete Overlays of Asphalt Pavements*. Washington, DC: Federal Highway Administration, 2017.- 132 p.
18. FHWA. *Thin Asphalt Overlays for Pavement Preservation*. Washington, DC: Federal Highway Administration, 2016.- 84 p.
19. FHWA. *Pavement Preservation Compendium II*. Washington, DC: Federal Highway Administration, 2018.- 146 p.
20. ISSA A165. Recommended performance guideline for Chip Seal. 2022, p. 9. https://org-ppra-prod.s3.amazonaws.com/uploads/treatment_file/upload/36/A165_Recommended_Performance_Guideline_for_Chip_Seal.pdf
21. NCHRP. *Synthesis 460: Thin and Ultra-Thin Asphalt Overlays for Pavement Preservation*. Washington, DC: Transportation Research Board, 2014.- 118 p.
22. PIARC. *Road Surface Characteristics and Surface Treatments*. Paris: World Road Association, 2019. 92 p.
23. PIARC. *Pavement Preservation Techniques*. Paris: World Road Association, 2019. 96 p.
24. *Thin Concrete Overlays Technical Brief*. – Washington: Federal Highway Administration. – 12 с. URL: <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/pubs/hif17012.pdf>
25. Microsurfacing Association. *Microsurfacing — A Proven Surface Treatment*. Washington, DC, 2021. 24 p.
26. Гамеляк І.П. *Основи забезпечення надійності конструкцій дорожнього одягу*. НТУ. 2005. 428 с.
27. Гамеляк І. П., Журавський Д. Д. Шляхи відновлення та збереження автомобільних доріг в умовах обмеженого фінансування. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2025. Вип. 118. Ч. 1. С. 35–47. DOI: 10.33744/0365-8171-2025-118.1-035-047. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/118.1/35.pdf
28. ДБН 2.3.-4 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина 2. Будівництво. https://online.budstandart.com/ua/catalog/document.html?id_doc=96760
29. ТК 37641918/03450778-145:2012 Типова технологічна карта на влаштування одиночної поверхневої обробки з одним розсипом щебеню з застосуванням укладальної дорожньої колони SCHAFFER Road-Master 4000.
30. ТК 37641918/03450778-135:2012 Типова технологічна карта на влаштування одиночної поверхневої обробки з двома розсипами щебеню з застосуванням бітумошебенерозподільовача Patchmatic R-2.
31. Р В.3.2-218-03449261-728:2008. Рекомендації по застосуванню тонкошарових покриттів при поточному ремонті автомобільних доріг. https://online.budstandart.com/ua/catalog/document.html?id_doc=46643
32. СОУ 45.2-00018112-036:2009 Бітуми та бітумополімери рідкі. Технічні умови.

EFFICIENCY OF RESTORATION OF CEMENT CONCRETE PAVEMENTS USING WEARING COURSES

Igor Pavlovych Gameliak, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of "System Design of Transport Infrastructure and Geodesy", National Transport University. Kyiv, Ukraine, e-mail: gip65n@gmail.com <https://orcid.org/0000-0001-9246-7561>

Demyan Leonardovich Zhuravskiy, chief of laboratory, ShRBU N100 (Kyiv, Ukraine), kievizol@ukr.net

Summary. The paper presents the results of research on the efficiency of restoring the performance characteristics of cement concrete pavements using wearing courses. International and national experience in

the application of thin and ultra-thin layers is analyzed. The effectiveness of technologies such as microsurfacing, slurry seal, and thin asphalt layers is evaluated. The economic and operational advantages of preventive maintenance are substantiated.

In 2025–2026, a test of cold high-crushed asphalt concrete Road Pave was conducted in the Kyiv region. The mixture was laid in a layer of 15 mm at an air temperature of +10°C on a wet concrete surface. After two weeks of operation, the condition of the site was assessed as excellent, no crushed stone was recorded. This confirms the possibility of using cold technologies for the operational protection of concrete slabs.

The main efficiency factors: technical condition of the surface; traffic intensity; climatic conditions; quality of materials and technology of work. The economic efficiency of using wearing layers consists in reducing costs by 35–45%; postponing major repairs from 2–4 to 10–15 years; increasing the efficiency of using limited resources.

The scientific novelty lies in the established dependence of the efficiency of wearing layers on: the condition of the surface; type of technology; composition of the mixture. The feasibility of using micro-covers as an optimal solution for cement concrete surfaces is substantiated.

The practical significance of the results obtained lies in the use used in the development of regulatory documents; in the practice of operating highways and in planning repair measures in the SUSP or HDM system.

The most promising direction for Ukraine is the development of cold mix compositions with increased adhesion, clarification of DSTU requirements for surface treatments, diluted bitumen, cold asphalt concrete mixtures, preventive maintenance of CCP and training of qualified personnel of road workers capable of meeting the level of modern technologies.

Keywords: cement concrete pavement, wearing course, microsurfacing, efficiency, durability.

References

1. Asphalt Institute. MS-17 Asphalt Overlays for Highway and Street Rehabilitation. Lexington: Asphalt Institute, 2014.- 152 p.
2. AASHTO. Pavement Management Guide. 2nd ed. Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials, 2012. - 263 p.
3. ASTM D-2995-23. Standard Practice for Estimating Application Rate and Residual Application Rate of Bituminous Distributors, 2023. DOI: 10.1520/D2995-23
4. ATS 3550 Diamond Grinding of Concrete Pavement / Austroads Test Methods. – Sydney: Austroads, 2019. – 22 c. URL: <https://austroads.com.au/publications/test-methods/ats-3550>.
5. ACPA. Thin Concrete Overlays for Pavement Preservation. Skokie: American Concrete Pavement Association, 2014.- 48 p.
6. Concrete Pavement Preservation Guide. – Washington: Federal Highway Administration, 2014. – 64 c. URL: <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/concrete/pubs/hif14004.pdf>.
7. Concrete Pavement Preservation, Maintenance and Rectification. – Sydney: Concrete Pavements Australia, 2022. – 30 c. URL: <https://concretepavements.com.au/wp-content/uploads/2022/10/Pavement-Note-004-Concrete-Pavement-Preservation-Maintenance-and-Rectific>.
8. Concrete Pavements for Low Noise Performance that Lasts. – Brussels: EUPAVE, 2016. – 16 c. URL: <https://www.eupave.eu/wp-content/uploads/eupave-leaflet-low-noise-concrete-pavements.pdf>.
9. Diamond Grinding of Concrete Pavements. – Washington: Federal Highway Administration. – 24 c. URL: <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/concrete/diamond.pdf>.
10. EN 12271:2006. Surface dressing — Requirements. Brussels: European Committee for Standardization, 2006. 34 p..
11. EN 12273:2008. Slurry surfacing — Requirements. Brussels: European Committee for Standardization, 2008. 30 p.
12. Guide to Concrete Road Pavements (BP64). – Brussels: EUPAVE; BRITPAVE, 2014. – 52 c. URL: <https://www.eupave.eu/wp-content/uploads/BP64-Guide-to-Concrete-Road-Pavements-BRITPAVE.pdf>.

13. Harrington D., Fick G. Guide to Concrete Overlays. 3rd ed. Skokie: American Concrete Pavement Association, 2014.- 196 p.
14. International Slurry Surfacing Association (ISSA). Slurry Seal Handbook. Revised edition. Annapolis, 2010. 312 p.
15. Next Generation Concrete Surface White Paper / American Concrete Pavement Association. – Washington: ACPA, 2017. – 28 с. URL: https://www.acpa.org/wp-content/uploads/2019/02/Celebrating_Next_Generation_Concrete_Surfaces_White_Paper.pdf.
16. Ergun, Murat & Iyınam, Sukriye & Iyınam, A.. (2005). Prediction of Road Surface Friction Coefficient Using Only Macro and Microtexture Measurements. Journal of Transportation Engineering 2005-04-01 131(4): 311-319. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(2005\)131:4\(311\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(2005)131:4(311))
17. FHWA. Guide for Concrete Overlays of Asphalt Pavements. Washington, DC: Federal Highway Administration, 2017.- 132 p.
18. FHWA. Thin Asphalt Overlays for Pavement Preservation. Washington, DC: Federal Highway Administration, 2016.- 84 p.
19. FHWA. Pavement Preservation Compendium II. Washington, DC: Federal Highway Administration, 2018.- 146 p.
20. ISSA A165. Recommended performance guideline for Chip Seal. 2022, p. 9. https://org-ppra-prod.s3.amazonaws.com/uploads/treatment_file/upload/36/A165_Recommended_Performance_Guideline_for_Chip_Seal.pdf
21. NCHRP. Synthesis 460: Thin and Ultra-Thin Asphalt Overlays for Pavement Preservation. Washington, DC: Transportation Research Board, 2014.- 118 p.
22. PIARC. Road Surface Characteristics and Surface Treatments. Paris: World Road Association, 2019. 92 p.
23. PIARC. Pavement Preservation Techniques. Paris: World Road Association, 2019. 96 p.
24. Thin Concrete Overlays Technical Brief. – Washington: Federal Highway Administration. – 12 с. URL: <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/pubs/hif17012.pdf>
25. Microsurfacing Association. Microsurfacing — A Proven Surface Treatment. Washington, DC, 2021. 24 p.
22. Gameliak I.P. *Osnovy zabezpechennia nadiinosti konstruksii dorozhnoho odiahu*. NTU. 2005. 428 s. [in Ukrainian]
27. Gameliak I. P., Zhuravskiy D. D. Shliakhy vidnovlennia ta zberezhenia avtomobilnykh dorih v umovakh obmezhenoho finansuvannia. *Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo*. 2025. Vyp. 118. Ch. 1. S. 35–47. DOI: 10.33744/0365-8171-2025-118.1-035-047. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/118.1/35.pdf [in Ukrainian]
28. DBN 2.3.-4 Avtomobilni dorohy. Chastyna I. Proektuvannia. Chastyna 2. Budivnytstvo. https://online.budstandart.com/ua/catalog/document.html?id_doc=96760 [in Ukrainian]
29. TK 37641918/03450778-145:2012 Typova tekhnolohichna karta na vlashtuvannia odnochnoi poverkhnevoi obrobky z odnym rozsyptom shchebeniu z zastosuvanniam ukladalnoi dorozhnoi kolony SCHAFFER Road-Master 4000. Diiuchy. https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=54802 [in Ukrainian]
30. TK 37641918/03450778-135:2012 Typova tekhnolohichna karta na vlashtuvannia odnochnoi poverkhnevoi obrobky z dvoma rozsyparamy shchebeniu z zastosuvanniam bitumoshchebenerozpodiliuvacha Patchmatic R-2. Diiuchy. [in Ukrainian]
31. R V.3.2-218-03449261-728:2008. Rekomendatsii po zastosuvanniu tonkosharovykh pokryttiv pry potochnomu remontu avtomobilnykh dorih. Diiuchy. Data pryiniattia: 03.12.2008. https://online.budstandart.com/ua/catalog/document.html?id_doc=46643 [in Ukrainian]
32. SOU 45.2-00018112-036:2009 Bitumy ta bitumopolimery ridki. Tekhnichni umovy. [in Ukrainian]

Дата надходження до редакції 05.01.2026.

Дата прийняття статті після рецензування 01.02.2026.