

УДК 625.02

DOI <https://doi.org/10.32782/apcmj.2025.1.15>**Сідун Юрій Володимирович,**

кандидат технічних наук, доцент, докторант,
доцент кафедри автомобільних доріг та мостів
Навчально-наукового інституту будівництва та інженерних систем,
Національний університет «Львівська політехніка»,
вул. Степана Бандери, 12, м. Львів, 79000, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3606-6899>
E-mail: yurii.v.sidun@lpnu.ua

Гунька Володимир Мирославович,

доктор технічних наук, доцент,
доцент кафедри хімічної технології переробки нафти та газу
Навчально-наукового інституту будівництва та інженерних систем,
Національний університет «Львівська політехніка»,
вул. Степана Бандери, 12, м. Львів, 79000, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3480-0693>
E-mail: volodymyr.m.hunka@lpnu.ua

Поляк Ольга Євгенівна,

аспірантка кафедри хімічної технології переробки нафти та газу
Навчально-наукового інституту будівництва та інженерних систем,
Національний університет «Львівська політехніка»,
вул. Степана Бандери, 12, м. Львів, 79000, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2100-9122>
E-mail: olha.y.poliak@lpnu.ua

Куліков Даниїл Олександрович,

аспірант кафедри автомобільних доріг та мостів
Навчально-наукового інституту будівництва та інженерних систем,
Національний університет «Львівська політехніка»,
вул. Степана Бандери, 12, м. Львів, 79000, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2554-5295>
E-mail: danyil.o.kulikov@lpnu.ua

СУЧАСНІ ШАРИ ЗНОСУ НА ОСНОВІ БІТУМНОГО В'ЯЖУЧОГО ДЛЯ ДОРОЖНІХ І АЕРОДРОМНИХ ПОКРИВІВ

Анотація. У статті наведено поняття шарів зносу й охарактеризовані основні шари зносу на основі бітумного в'язучого, які використовуються у світовій практиці. Наведено інформацію про маловідомі в Україні гарячі асфальтобетонні суміші для надтонких шарів (Béton Bitumineux Très Mince (далі – ВВТМ)) та суміші для ультратонкого шару (Ultra-Thin-Layers (AUTL)). Охарактеризовано технологію Novachip (Новачип), яка є комбінацією «гарячої» і «холодної» емульсійних технологій у єдиному процесі. Описано прогалини у вітчизняній нормативній базі щодо шарів зносу дорожніх і аеродромних покриттів. Обґрунтовано перспективність холодної асфальтобетонної технології з використанням литих емульсійно-мінеральних сумішей для шару зносу аеродромних покриттів. Технологія литих емульсійно-мінеральних сумішей як на науковому, так і на практичному рівні добре відпрацьована в Україні та світі, дозволяє влаштовувати шари зносу на асфальтобетонних і цементобетонних покриттях. Запропоновано оновлена класифікація шарів зносу залежно від використаного бітумного в'язучого: гарячі, з використанням бітумів нафтових дорожніх модифікованих та холодні, з використання модифікованих бітумних емульсій; від матеріалів (використаних сумішей): з модифікованих сумішей асфальтобетонних гарячих дрібнозернистих (з розміром зерна до 10 міліметрів), з модифікованих сумішей асфальтобетонних щебенево-мастикових ЩМАС-5 та ЩМАС-10 або ЩМА-4 та ЩМА-8, з асфальтобетонних сумішей для надтонких шарів ВВТМ та ультратонкого шару AUTL, з модифікованих литих емульсійно-мінеральних сумішей, з модифікованих поверхневих обробок; за

товщиною шару: тонкі (які об'єднують такі: надтонкі, ультратонкі, особливо тонкі) – понад 10 міліметрів до 30 міліметрів включно, супертонкі – понад 1 міліметр до 10 міліметрів включно.

Ключові слова: шари зносу, дорожні й аеродромні покриття, бітумне в'язуче, холодні та гарячі асфальтобетонні технології.

Sidun Iurii, Gunka Volodymyr, Poliak Olha, Kulikov Danyil. Modern wearing courses based on bitumen binder for road and airfield pavements

Abstract. The article defines the concept of a wearing course and provides a detailed characterization of the main bituminous binder-based wearing courses used globally. It offers insights into hot asphalt mixtures for Béton Bitumineux Très Mince (BBTM) and mixtures for Ultra-Thin Layers (AUTL), both of which are relatively unknown in Ukraine. The article also describes the Novachip technology, which combines hot and cold emulsion technologies in a single process. This hybrid method is highlighted for its unique ability to deliver superior results in specific applications. Furthermore, the article highlights the gaps in the national regulatory framework regarding the use of wearing layers for road and airfield pavements. It discusses the potential benefits of cold asphalt concrete technology, particularly the use of Slurry Surfacing as a viable option for wearing layers on airfield pavements. The application of Slurry Surfacing is well-established both at scientific and practical levels, not only in Ukraine but globally, and is recognized as an effective solution for creating durable wearing layers on both asphalt and cement concrete pavements.

Additionally, the article proposes an updated classification system for wearing layers. This system categorizes them based on the type of bituminous binder used, distinguishing between hot-applied mixtures that use modified petroleum road bitumen and cold-applied mixtures that rely on modified bitumen emulsions. It also classifies the materials used in these mixtures, which include modified hot fine-grained asphalt mixtures (with aggregate sizes up to 10 mm), modified asphalt mixtures of crushed stone mastic asphalt, such as SMA-5, SMA-10, SMA-4, and SMA-8, as well as asphalt mixtures specifically designed for ultra-thin layers, including BBTM and AUTL. Moreover, the classification encompasses mixtures made with modified Slurry Surfacing and other modified surface treatments.

Finally, the article addresses the categorization of wearing layers by their thickness. It introduces the classification of thin layers, which includes ultra-thin and extra-thin layers, with thicknesses ranging from 10 mm to 30 mm inclusive, and super-thin layers, which are those with thicknesses ranging from 1 mm to 10 mm inclusive.

Key words: wearing courses, road and airfield pavements, bituminous binder, cold and hot asphalt technologies.

Вступ. Шари зносу (wearing course (surface course)) з використання бітумного в'язучого в Україні в основному застосовують поверх дорожнього покриття під час нового будівництва, реконструкції, ремонтів і експлуатаційного утримання доріг і вулиць. Їх призначення – підвищення коефіцієнта зчеплення транспортних засобів із поверхнею, відновлення шорсткості, рівності, водонепроникнення та запобігання утворенню дефектів і зношення покриття.

Натепер в Україні чинним є ДСТУ-Н Б В.2.3-38:2016 [1] щодо захисних шарів зносу покриття автомобільних доріг, але документ морально застарів і потребує оновлення. В [1] зазначено, що для влаштування шарів зносу можна використовувати суміші щебеневомастикові асфальтобетонні (далі – ЩМА) і асфальтобетонні гарячі дрібнозернисті (далі – АСГ), щільні, типу А або Б, з максимальним розміром зерен 20 (15) мм, проте в дорожній практиці України такі шари з тов-

щиною 50 мм є безпосередньо конструктивними шарами у дорожньому покритті, а не шарами зносу. А під шаром зносу найчастіше розуміють шари з поверхневих обробок і литих емульсійно-мінеральних сумішей товщиною в один шар, зазвичай від 0,5 до 1,5 см, та загальною товщиною до 3,0 см.

Матеріали та методи. У дорожній практиці часто вживають щодо шарів зносу термін «тонкошарові» шари або покриття (*thin layers, thin surfacing*). Щодо вітчизняної нормативної літератури, то цей термін уживається дедалі рідше. В останній версії державного стандарту щодо термінів і визначення понять, що стосуються автомобільних доріг (ДСТУ 9214 [2]), відсутній термін «тонкошарове покриття», але наявний «шар зносу». Хоча в попередній версії цього стандарту ДСТУ Б А.1.1-100:2013 [3] зазначено, що тонкошарове покриття – це верхній шар покриття дорожнього одягу, який може складатися з одного (під час нового будівництва та реконструкції)

або двох шарів: нижнього вирівнювального шару, і верхнього – для забезпечення зчеплення з колесами автомобілів і нормативної рівності (шар зносу).

Щодо європейської нормативної бази (яка гармонізована в Україні), можна виділити такі стандарти на матеріали (окрім згаданих ЩМА, АСГ), які можуть бути використані для спорудження шару зносу за «гарячою технологією»:

– ДСТУ EN 13108-2:2019 (EN 13108-2:2006, IDT). Бітумомінеральні суміші. Технічні вимоги до матеріалів. Частина 2. Асфальтобетон для надтонких шарів (BBTM) [4];

– ДСТУ EN 13108-9:2022 (EN 13108-9:2016, IDT). Бітумні суміші. Специфікації матеріалів. Частина 9. Асфальт для ультратонкого шару (далі – AUTL) [5].

В Україні такі асфальтобетони для шарів Béton Bitumineux Très Mince (далі – BBTM) і AUTL є маловідомими. BBTM – французька аббревіатура, загальноприйнятою в міжнародній практиці, що підкреслює внесок французьких науковців у дослідження та впровадження таких специфічних асфальтобетонів. Англійським варіантом BBTM є Very Thin Layers (надтонкі шари). Шар із BBTM складається з гарячого асфальтобетону, що характеризується максимальним розміром щебеню 5, 6, 8, 10 чи 11 мм та товщиною шару від 20–30 мм. Щебінь становить 80–85% маси мінеральних складників, а дрібний заповнювач і наповнювач (карбонатний мінеральний порошок) – 15–20%. Як в'язуче для BBTM використовують бітум, модифікований полімерами (далі – БМП) чи комплексами добавок (далі – БМК). Асфальтобетон для BBTM є матеріалом із щільною текстурою поверхні (dense surface texture) [6–10].

Що стосується AUTL (Ultra-Thin-Layers), то це шари з гарячого асфальтобетону завтовшки зазвичай від 10–30 мм із щільною або відкритою текстурою (open surface texture). Асфальтобетон для AUTL уміщує щебінь фракції 4–6 (8) або 6–8 (10) мм (65–85% маси мінеральних складників), щебеневий відсів 0–4 мм (10–20% маси мінеральних складників) та мінеральний порошок (10–20% маси мінеральних складників), у ролі в'язучого

використовують БМП чи БМК [11–12]. Цікавим є шар AUTL за технологією Novachip (Новачіп). Особливістю цієї технології є влаштування спеціальних асфальтобетонних сумішей, що готуються в гарячому стані й укладаються на шари проклеювання і герметизації з катіонної модифікованої емульсії, що наноситься безпосередньо перед укладанням суміші. Комбінація «гарячої» та «холодної» емульсійних технологій у єдиному процесі дозволяє надійно укласти вказані покриття мінімальною товщиною 10 (15) мм. У результаті утворюється однорідна поверхня, рух по якій може бути відкритий відразу після її охолодження. Для влаштування покриття за технологією Novachip застосовуються спеціально переобладнані асфальтоукладальники (Novachip Paver) із модулем для розливу емульсії (Spray Jet). Ще однією цікавою технологією, схожою на Novachip, є Ultrathin Gap Graded Wearing Course (UTGGWC), покриття, виготовлений із суміші з переривчастим зерновим складом (gap-graded mix), у якій присутні крупні та дрібні зерна, але без чи з малою кількістю так званих середніх фракцій [13–14]. Також асфальтобетони для шарів BBTM і AUTL можуть містити стабілізуючі добавки, які використовують у складі ЩМА.

У США шари зносу з гарячого асфальтобетону, що по суті і є AUTL за технологією Novachip, називають по-різному: UTBWC (Ultra-thin bonded wearing course) або UTWC (Ultra-thin wearing course), або UTWCEM (Ultra-thin wearing course emulsion membrane) [15–17]. Гарячі литі асфальтобетони й епоксидасфальтобетони також можуть бути використані для шарів зносу, але такий вид асфальтних бетонів є технологічно складним і економічно дорогавартісним, тому його зазвичай застосовують для покриття мостових переходів [18].

Давно відомою технологією в Україні є шари зносу з поверхневих обробок (далі – ПО), загальна англійська назва “Surface dressing”, шари, які влаштовують одним і більше розподіленням в'язучого та щебеню. Загалом є такі типи ПО: одно- або двошарова, зворотня двошарова та ПО каркасного типу або типу сендвіч. Раніше для влаштування

ПО використовували немодифіковані гарячі бітуми, БМП, БМК або бітуми розріджені, теж немодифіковані, або модифіковані. Нині для реалізації технології ПО зазвичай застосовують модифіковані бітумні емульсії, що вміщують модифікатори у формі адгезиву та полімеру [19]. Хоча у США популярним засобом підвищення коефіцієнта зчеплення шин із покритвом є High friction surface treatments (далі – HFST), з високомодифікованим гарячим бітумним чи полімерним в'язучим і спеціальним зносостійким кам'яним матеріалом – випаленим бокситом. HFST застосовують на крутих поворотах, перехрестях, мостових переходах і небезпечних ділянках міжнародних доріг [20–21].

Щодо «холодних» технологій, то одним із популярних видів шарів зносу є литі емульсійно-мінеральні суміші (далі – ЛЕМС), у світовій термінології – Slurry Surfacing, які дедалі частіше застосовується на противагу ПО. Шари зносу з ЛЕМС – це шари, які утворюються після розпаду суміші, що складається із щебеню та/або відсіву, бітумної або бітумної модифікованої емульсії, води, мінерального наповнювача (зазвичай цементу) та, за потреби, регулятора розпаду. Виготовлення та влаштування ЛЕМС виконують на місці у спеціалізованих пересувних змішувачах-укладальниках. Зазвичай ЛЕМС вкладають у два шари (нижній шар є вирівнювальним, а верхній безпосередньо шаром зносу). ЛЕМС, який виготовляють лише на відсві фракції 0–5 мм, дістав назву “Slurry Seal”, а коли до суміші додають фракцію щебеню в межах 5–10 мм, то суміш називають Micro-Surfacing [22–24]. Існує технологія Cape Seal (Кейп Сіл), яка поєднує шар ПО (як нижній вирівнювальний шар) і ЛЕМС (як верхній шар). Також до шарів зносу можна віднести такі «холодні» технології, як Fog Seal, Scrub Seal, Sand Seal, Otta Seal, Fib (Fibro) Seal, різні омолоджувальні чи герметизуючі матеріали [25–26]. Усі ці технології створюють шари завтовшки в декілька міліметрів і натепер не є поширеними в Україні.

Специфікою аеродромних покриттів, отже, і шарів зносу до них, є обов'язковість випробування на стійкість до палива за ДСТУ EN

12697-43 [27] та протижелезних матеріалів за ДСТУ EN 12697-41 [28]. Після позитивних результатів цих випробувань ДСТУ EN 13108-20 [29] дозволяє використання вже згаданих асфальтобетонів: ВВТМ і АУТЛ, АСГ, ЩМА для аеродромного покриття.

Щодо вітчизняної законодавчої та нормативної бази, в Інструкції з експлуатації аеродромів державної авіації України [30] та проєкті ДБН В.2.2-XX (друга редакція) [31] немає і згадки про шари зносу аеродромних покриттів. У БНіП 3.06.06-88 Аеродроми [32] та БНіП 2.05.08-85 Аеродроми [33] таких згадок теж не було. Єдиним натепер стандартом, який рекомендує, які асфальтобетони можна застосовувати для аеродромів, є ДСТУ Б В.2.7-119:2011 [34]. У ньому наведена область використання асфальтобетонної суміші та асфальтобетону в покритві злітно-посадкових смуг, магістральних та інших руліжних доріжок, місць зупинок і перонів аеропортів залежно від категорії нормативного навантаження, району проєктування та марки бітуму. Проте вже нині на фінальній стадії розроблення ДСТУ 9290-1:202 [35], де не згадується асфальтобетон для аеродромних покриттів. Тільки є примітка, що асфальтобетонна суміш, згідно із цим стандартом, дозволена до використання для інших потреб, якщо це передбачено відповідною проєктною документацією.

Натепер авторам видається, що перспективною технологією, яка могла б виконати функцію шару зносу для аеродромних покриттів, є ЛЕМС. Оскільки дана технологія є досить добре відпрацьованою в Україні [24; 36–37], дозволяє влаштування шарів на асфальтобетонних і цементобетонних покриттях, і основне, закордонний досвід говорить про її можливість використання для аеродромних покриттів [38–44]. Правда, в Україні про можливість використання ЛЕМС як шару зносу для аеродромів згадують нечасто [45]. Натепер в Україні щодо ЛЕМС чинні такі нормативи: ДСТУ EN 12273:2023 [46] та СОУ 42.1-37641918-119:2014 [47]. Проте в цих нормативах немає згадки про те, що ЛЕМС можна застосовувати для аеродромних покриттів. А в ДСТУ EN 12273:2023 [46] зазначено, що

вимоги стандарту не призначені для використання на покритвах, до яких застосовують міжнародні вимоги, наприклад вимоги Міжнародної організації цивільної авіації (далі – ІКАО) (аеродромні покриття). Отже, нині застосування ЛЕМС на аеродромних покритвах є обмеженим через відсутність необхідної нормативної бази та практичного досвіду. Зважаючи на те, що з 19 цивільних аеропортів 12 постраждали (зокрема, і аеродромні покриття) [48] через воєнні дії, розпочаті агресором, уже нині необхідно думати про залучення нових технологій для відновлення та збереження покриттів, однією з яких і є ЛЕМС (рис. 1).

Результати. Виходячи з український реалій і чинних натепер нормативних документів, авторами запропоновано нову класифікацію шарів зносу. Залежно від використаного бітумного в'язучого шари зносу можна поділити на класи:

- гарячі, з використання бітумів нафтових дорожніх модифікованих;
- холодні, з використання модифікованих бітумних емульсій.

Залежно від матеріалів (використаних сумішей) шари зносу можна поділити на види:

- із модифікованих сумішей асфальтобетонних гарячих дрібнозернистих (з розміром зерна до 10 мм) щільних, згідно з ДСТУ 8959 [50], на бітумах марок БМПП 35/50-70, БМПП 50/70-65, БМПП 70/100-60 (з добавками на основі поверхнево-активних речовин (за потреби)) за ДСТУ 9116 [51], на бітумах марок БМКП 35/50-70, БМКП 50/70-65, БМКП 70/100-60 за ДСТУ 9133 [52];

- із модифікованих сумішей асфальтобетонних щебенево-мастикових ЩМАС-5 і ЩМАС-10 згідно з ДСТУ 9282:2024 [53], на бітумах марок БМПП 35/50-70, БМПП 50/70-65, БМПП 70/100-60 (з добавками на основі поверхнево-активних речовин (за потреби)) за ДСТУ 9116 [51], на бітумах марок БМКП 35/50-70, БМКП 50/70-65, БМКП 70/100-60 за ДСТУ 9133 [52];

- із модифікованих щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей ЩМА-4 та ЩМА-8 за ДСТУ EN 13108-5 [54];



Рис. 1. Приклад улаштування ЛЕМС на аеродромному покритті [49]

- з асфальтобетонних сумішей (BBTM) згідно з ДСТУ EN 13108-2 [4];
- з асфальтобетонних сумішей (AUTL) згідно з ДСТУ EN 13108-9 [5];
- із литих емульсійно-мінеральних сумішей згідно з ДСТУ EN 12273 [46] на основі модифікованих бітумних емульсій;
- із поверхневих обробок згідно з ДСТУ EN 12271 [55] на основі модифікованих бітумних емульсій.

За товщиною шари зносу можна поділити на:

- тонкі (які об'єднують надтонкі, ультратонкі, особливо тонкі) – понад 10 мм до 30 мм включно;
- супертонкі – понад 1 мм до 10 мм включно.

Висновки. Наведено прогалини у вітчизняній нормативній базі щодо шарів зносу дорожніх покриттів. Запропоновано оновлену класифікацію шарів зносу залежно від використаного бітумного в'язучого, від матеріалів (використаних сумішей) та за товщиною шару.

Установлено, що натеper в Україні не існує нормативного документа, яким можна було б керуватись для влаштування шарів зносу для аеродромних покриттів, узагалі відсутній такий термін, як «шар зносу аеродромного покриття». Тому необхідно ввести таке поняття під час розроблення нової версії ДСТУ 3228 [56] та доповнити ДБН В.2.2-XX [31] можливістю влаштування таких шарів. Обґрунтовано перспективність використанням литих емульсійно-мінеральних сумішей для шарів зносу аеродромних покриттів, спираючись на закордонний досвід.

Перспективою подальших досліджень у цьому напрямі є детальне вивчення особливостей влаштування литих емульсійно-мінеральних сумішей для шарів зносу аеродромних покриттів.

Подяка. Дана робота виконана в рамках реалізації проєкту «Інноваційні комплексні підходи для відновлення транспортних споруд» від Національного фонду досліджень України (грант № 2023.05/0026).

Список використаних джерел:

1. ДСТУ-Н Б В.2.3-38: 2016. Настанова з улаштування захисних шарів зносу покриття дорожнього одягу автомобільних доріг. (Чинний від 01.04.2017 р.). Київ : Мінрегіон України, 2016. 24 с.
2. ДСТУ 9214: 2023. Автомобільні дороги. Терміни та визначення понять. (Чинний від 01.06.2023 р.). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2023.
3. ДСТУ Б А.1.1-100:2013. Автомобільні дороги. Терміни та визначення понять. (Чинний від 01.0.2014 р.). Київ : Мінрегіон України, 2013. 42 с.
4. ДСТУ EN 13108-2:2019 (EN 13108-2:2006, IDT). Бітумомінеральні суміші. Технічні вимоги до матеріалів. Ч. 2 : Асфальтобетон для надтонких шарів (BBTM). (Чинний від 01.01.2020 р.). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019.
5. ДСТУ EN 13108-9:2022 (EN 13108-9:2016, IDT). Бітумні суміші. Специфікації матеріалів. Ч. 9 : Асфальт для ультратонкого шару (AUTL). (Чинний від 31.12.2023 р.). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.
6. Thouret D., Clarac A., Maurice Y. Colas mac tm: le premier BBTM (Beton Bitumineux Tres Mince) a froid. *Revue Générale des Routes (RGRA)*. 1999. № 776.
7. Androjić I., Kaluder G., Kaluder F. Influence of grading on the thin-layer asphalt concrete properties. *Gradevinar*. 2014. Vol. 66. P. 139–145. DOI: 10.14256/JCE.978.2013.
8. Riekstins A., Haritonovs V., Abolins V., Straupe V., Tihonovs J. Life cycle cost analysis of BBTM and traditional asphalt concretes in Latvia. *Engineering for Rural Development*. 2019. Vol. 18. P. 1065. DOI: 10.22616/ERDev2019.18.N400.
9. Eren E., Valentin J., Ahmedzade P. Assessment of the Effects of Induction Heating Induced-Healing on the Fracture Properties of Very Thin Asphalt Concrete. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2024. P. 106–115. DOI: 10.1007/978-3-031-63588-5_11.
10. Šernas O., Vaitkus A., Škuldeckė J., Skrodenis D., Wasilewska M., Gierasimiuk P. Development of low noise and durable semi-dense asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*. 2021. Vol. 293. P. 123413. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.123413.
11. Ortiz-Ripoll J., Grau X., Lladanosa J. AUTL bituminous mixtures for ultra-thin layer. *Carreteras*. 2019. № 4. P. 71–82.

12. Miró R., Martínez A., Pérez-Jiménez F., Moreno-Navarro F., Sol M., Rubio-Gámez M., Carnerero J., Pallarés M., Marco J., Báguena L., Luna A. Analysis of different testing techniques for evaluating the adhesion of asphalt ultra-thin layers (AUTL). *International Journal of Pavement Engineering*. 2023. Vol. 24. DOI: 10.1080/10298436.2023.2241108.
13. Cooper S.B., Mohammad L.N. Novachip surface treatment: six year evaluation (№ 04–2TA). *Louisiana Transportation Research Center*. 2004.
14. Yang R., Zhang C., Zhou Q., Liang Y. Study on Application of Novachip Ultra-thin Layer. *E3S Web of Conferences*. 2021. Vol. 236. DOI: 10.1051/e3sconf/202123602032.
15. AASHTO M346. Materials for Ultrathin Bonded Wearing Course. Washington, D. C. : American Association of State Highway and Transportation Officials.
16. AASHTO R108. Ultrathin Bonded Wearing Course Design. Washington, D. C. : American Association of State Highway and Transportation Officials.
17. Bennert T., Fee F., Sheehy E., Jumikis A., Sauber R. Comparison of Thin-Lift Hot-Mix Asphalt Surface Course Mixes in New Jersey. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2005. Vol. 1929. P. 59–68. DOI: 10.1177/0361198105192900108.
18. Онищенко А.М. Заходи з підвищення колієстійкості асфальтобетонного покриття на автодорожніх залізобетонних мостах. *Дороги і мости*. 2011. Вип. 13. С. 95–105.
19. Sidun I., Vollis O., Bidos V., Helon D., Stanchak S. Adhesion of road bitumen emulsions on both hydrochloric and orthophosphoric acids for the technology of surface dressing. *Theory and Building Practice*. 2022. Vol. 4. № 1. P. 27–34. DOI: 10.23939/jtbp2022.01.027.
20. AASHTO PP 79:2014 Superseded. Practice for High Friction Surface Treatment for Asphalt and Concrete Pavements. Washington, D. C. : American Association of State Highway and Transportation Officials, 2014.
21. Pasindu H.R., Bandara S., Mampearachchi W., Fwa T. Road and Airfield Pavement Technology. *Springer International Publishing*. 2022. DOI: 10.1007/978-3-030-87379-0.
22. Sidun I., Vollis O., Gunka V., Ivasenko V. Hydrochloric and Orthophosphoric Acids Use in the Quick-Traffic Slurry Surfacing Mix. *Chemistry & Chemical Technology*. 2020. Vol. 14. P. 380–385. DOI: 10.23939/chcht14.03.380.
23. Гамеляк І., Журавський Д. Ультратонкі покриття для ремонту асфальто- і цементобетонних покриттів автомобільних доріг, вулиць та площ. *Органічні і мінеральні в'язучі та дорожні бетони на їх основі* : збірник тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, м. Харків, 8–9 листопада 2022 р. Харків, 2022. С. 19–23.
24. Островерхий О. Проектування тонкошарових емульсійно-мінеральних покриттів дорожніх одягів : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.11. Київ, 2002.
25. Salomon D.R. Asphalt emulsion technology. *Transportation Research Board, Characteristics of Bituminous Materials Committee*. Transportation Research Circular E-C102. Washington, D. C. : Transportation Research Board, 2006.
26. AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993. Washington, D. C. : American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993.
27. ДСТУ EN 12697-43: 2022. Бітумні суміші. Методи випробування гарячих асфальтобетонних сумішей. Ч. 43 : Стійкість до палива (EN 12697-43:2014, IDT). (Чинний від 21.12.2023 р.). Київ, 2022.
28. ДСТУ EN 12697-41: 2019. Бітумомінеральні суміші. Методи випробування гарячих асфальтобетонних сумішей. Ч. 41 : Визначення стійкості до протиожедних рідин (EN 12697-41:2013, IDT). (Чинний від 01.10.2019 р.). Київ, 2019.
29. ДСТУ EN 13108-20: 2018. Бітумомінеральні суміші. Технічні умови. Ч. 20. Методи типових випробувань (EN 13108-20:2016, IDT). (Чинний від 01.10.2019 р.). Київ, 2018.
30. Інструкція з експлуатації аеродромів державної авіації України (зі змінами, внесеними згідно з наказом Міністерства оборони № 348 від 23.09.2020 р.). Київ : Міністерство оборони України, 2013.
31. ДБН В.2.2-XX:2022 (Проект, друга редакція). Київ : Міністерство розвитку громад та територій України, 2022.
32. БНіП 3.06.06-88 Аеродроми. Москва : Держбуд СРСР, 1988.
33. БНіП 2.05.08-85 Аеродроми. Москва : Держбуд СРСР, 1985.
34. ДСТУ Б В.2.7-119: 2011. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови. (Чинний від 01.10.2012 р.). Київ, 2011.
35. Проект ДСТУ 9290-1: 202. Суміші асфальтобетонні та асфальтобетон. Технічні умови. Ч. 1 : Гарячі суміші. Київ.
36. Сідун Ю. Підвищення швидкості набору когезійної міцності литих холодних емульсійно-мінеральних сумішей: дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05. Львів, 2017. 172 с.

37. Волліс О. Дорожні катіонні бітумні емульсії на ортофосфорній кислоті з покращеними властивостями : дис. ... докт. філософії : 192. Львів, 2023. 209 с.
38. Rushing J. Full-scale field trials of asphalt concrete preventive maintenance techniques for airfield pavements. *Seventh International Conference on Maintenance and Rehabilitation of Pavements and Technological Control (MAIREPAV7)*. August 28–30, 2012. Auckland, New Zealand: Australian Road Research Board (ARRB), № 00056.
39. Humphries E., Lee S.J. Evaluation of pavement preservation and maintenance activities at general aviation airports in Texas: Practices, Perceived Effectiveness, Costs, and Planning. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2015. Vol. 2471 № 1. P. 48–57. DOI: 10.3141/2471-07.
40. Dzwilewski P.P., Espinoza A., Peshkin D., Trejos C., Dunn S.M., Ashburn R. Airport Pavement Surface Treatment : A Literature Review. *United States Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Airport Engineering Division*. 2022. DOI: 10.21949/1524476.
41. Parish J., Mackenzie J. The Use of Thin Film Slurry Surfacing on Military Airfield Pavements in the UK. *Proceedings of The Institution of Civil Engineers – Transport*. 1994. Vol. 105. P. 179–185. DOI: 10.1680/itrn.1994.26793.
42. Yuan J., Xu S., Hou X., Xiao F., Jiang C., Luo Y. Functional Layer Designation of Combined Chip Seal and Slurry Seal in Airport Pavement. *Journal of Testing and Evaluation*. 2018. Vol. 46. P. 20160431. DOI: 10.1520/JTE20160431.
43. Saraf C., Majidzadeh K., Kumar V. Criteria for Use of Seal Coats on Airport Pavements. *Transportation Research Record*. 1992. Vol. 122.
44. Ministry of Defence. Specification 045: Slurry Surfacing (Slurry Seal and Microsurfacing) for Airfields. Defence Estates, UK Government, 2016. URL: <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a7908c940f0b676f4a7d594/Spec45.pdf>.
45. Проектування та будівництво аеродромних комплексів : монографія / Г. Агеєва та ін. ; за ред. В. Карпова. Херсон : Олді+, 2022. 335 с.
46. ДСТУ EN 12273:2023. Покрив з литої емульсійно-мінеральної суміші. Вимоги (EN 12273:2008, IDT). (Чинний від 01.06.2024 р.). Київ, 2023.
47. СОУ 42.1-37641918-119:2014. Суміші литі емульсійно-мінеральні. Технічні умови, 2014. 24 с.
48. Дубик О. Про актуальність розроблення положень та методик оцінки стану та відновлення аеродромних покриттів. *Airport Planning, Construction and Maintenance Journal*. 2023. № 2. С. 38–50.
49. Nouryon. Slurry seal and microsurfacing Asphalt applications URL: <https://www.nouryon.com/globalassets/inriver/resources/brochure-asphalt-slurry-seal-microsurfacing-global-en.pdf>.
50. ДСТУ 8959: 2019. Асфальтобетонні суміші та асфальтобетон дорожні на основі бітумів, модифікованих полімерами. Технічні умови. (Чинний від 01.01.2021 р.). Київ, 2019.
51. ДСТУ 9116: 2021. Бітум та бітумні в'язучі. Бітуми дорожні, модифіковані полімерами. Технічні умови. (Чинний від 01.03.2022 р.). Київ, 2021.
52. ДСТУ 9133: 2021. Бітум та бітумні в'язучі. Бітуми дорожні, модифіковані комплексами добавок. Технічні умови. (Чинний від 01.08.2022 р.). Київ, 2021.
53. ДСТУ 9282: 2024. Бітумомінеральні суміші. Національні вимоги до щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей згідно з ДСТУ EN 13108-5. (Чинний від 01.10.2024 р.) Київ, 2024.
54. ДСТУ EN 13108-5: 2018. Бітумомінеральні суміші. Технічні умови. Ч. 5 : Щебенево-мастиковий асфальтобетон (EN 13108-5:2016, IDT). (Чинний від 01.07.2019 р.). Київ, 2018.
55. ДСТУ EN 12271: 2021. Поверхнева обробка. Технічні умови (EN 12271:2006, IDT). (Чинний від 01.07.2022 р.) Київ, 2021.
56. ДСТУ 3228-95 Аеродроми цивільні. Терміни та визначення. (Чинний від 01.07.1996 р.). Київ, 1995.

References:

1. Nastanova z vlashtuvannia zakhysnykh shariv znosu pokryttia dorozhnoho odiahu avtomobilnykh dorih. [Guidelines for the arrangement of protective wearing layers of road pavement]. (2016). *DSTU-N B V.2.3-38:2016 from 1st April 2017*. Kyiv: Minreghion Ukrainy [in Ukrainian].
2. Avtomobil'ni dorohy. Terminy ta vyznachennia poniat. [Roads. Terms and definitions of concepts]. (2023). *DSTU 9214:2023 from 1st June 2023*. Kyiv: DP "UkrNDNC" [in Ukrainian].
3. Avtomobil'ni dorohy. Terminy ta vyznachennia poniat [Roads. Terms and definitions of concepts]. (2013). *DSTU B A.1.1-100:2013 from 1st April 2014*. Kyiv: Minreghion Ukrainy [in Ukrainian].
4. Bitumomineral'ni sumishi. Tekhnichni vymohy do materialiv. Chastyna 2. Asfaltobeton dlia nadtonkikh shariv (VVTM) [Bituminous mineral mixtures. Technical requirements for materials. Part 2. Asphalt concrete

for ultrathin layers (VVTM)]. (2019). *DSTU EN 13108-2:2019 (EN 13108-2:2006, IDT) from 1st January 2020*. Kyiv: DP "UkrNDNC" [in Ukrainian].

5. Bitumni sumishi. Spetsyfikatsii materialiv. Ch. 9. Asphalt dlia ultratunkoho sharu (AUTL) [Bituminous mixtures. Material specifications. Part 9. Asphalt for ultrathin layers (AUTL)]. (2022). *DSTU EN 13108-9:2022 (EN 13108-9:2016, IDT) from 31st December 2023*. Kyiv: DP "UkrNDNC" [in Ukrainian].

6. Thouret, D., Clarac, A., & Maurice, Y. (1999). COLASMAC TM: Le premier BBTM (Béton Bitumineux Très Mince) à froid. *Revue Générale des Routes (RGRA)*, (776).

7. Androjić, I., Kaluder, G., & Kaluder, F. (2014). Influence of grading on the thin-layer asphalt concrete properties. *Gradevinar*, 66, 139–145. Retrieved from <https://doi.org/10.14256/JCE.978.2013>.

8. Riekstins, A., Haritonovs, V., Abolins, V., & Straupe, V. (2019). Life cycle cost analysis of BBTM and traditional asphalt concretes in Latvia. 18, 1065. Retrieved from <https://doi.org/10.22616/ERDev2019.18.N400>.

9. Eren, E., Valentin, J., & Ahmedzade, P. (2024). Assessment of the effects of induction heating induced-healing on the fracture properties of very thin asphalt concrete. *Springer*. Retrieved from https://doi.org/10.1007/978-3-031-63588-5_11.

10. Šernas, O., Vaitkus, A., Škulček, J., Skrodenis, D., Wasilewska, M., & Gierasimiuk, P. (2021). Development of low noise and durable semi-dense asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*, 293, 123413. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123413>.

11. Ortiz-Ripoll, J., Grau, X., & Lladanosa, J. (2019). AUTL bituminous mixtures for ultra-thin pavements. *Carreteras*, 4, 71–82.

12. Miró, R., Martínez, A., Pérez-Jiménez, F., Moreno-Navarro, F., Sol, M., Rubio-Gámez, M., Carnero, J., Pallarés, M., Marco, J., Báguena, L., & Luna, A. (2023). Analysis of different testing techniques for evaluating the adhesion of asphalt ultra-thin layers (AUTL). *International Journal of Pavement Engineering*, 24. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/10298436.2023.2241108>.

13. Cooper, S.B., & Mohammad, L.N. (2004). Novachip surface treatment: six year evaluation (№ 04–2TA). Louisiana Transportation Research Center.

14. Yang, R., Zhang, C., Zhou, Q., & Liang, Y. (2021). Study on application of Novachip ultra-thin layer. *E3S Web of Conferences*, 236, 02032. Retrieved from <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202123602032>.

15. AASHTO M346. (n.d.). Materials for ultrathin bonded wearing course. American Association of State Highway and Transportation Officials.

16. AASHTO R108. (n.d.). Ultrathin bonded wearing course design. American Association of State Highway and Transportation Officials.

17. Bennert, T., Fee, F., Sheehy, E., Jumikis, A., & Sauber, R. (2005). Comparison of thin-lift hot-mix asphalt surface course mixes in New Jersey. *Transportation Research Record*, 1929, 59–68. Retrieved from <https://doi.org/10.1177/0361198105192900108>

18. Onishchenko, A. M. (2011). Measures to increase the rutting resistance of asphalt concrete pavement on road reinforced concrete bridges. *Roads and Bridges*, 13, 95–105. [in Ukrainian].

19. Sidun, I., Vollis, O., Bidos, V., Helon, D., & Stanchak, S. (2022). Adhesion of road bitumen emulsions on both hydrochloric and orthophosphoric acids for the technology of surface dressing. *Theory and Building Practice*, 4(1), 27–34. Retrieved from <https://doi.org/10.23939/jtbp2022.01.027>.

20. AASHTO PP 79. (2014). Superseded practice for high fraction surface treatment for asphalt and concrete pavements. American Association of State Highway and Transportation Officials.

21. Pasindu, H.R., Bandara, S., Mampearachchi, W., & Fwa, T. (2022). Road and airfield pavement technology. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/978-3-030-87379-0>.

22. Sidun, I., Vollis, O., Gunka, V., & Ivasenko, V. (2020). Hydrochloric and orthophosphoric acids use in the quick-traffic slurry surfacing mix. *Chemistry & Chemical Technology*, 14, 380–385. Retrieved from <https://doi.org/10.23939/chcht14.03.380>.

23. Hameliak, I., & Zhuravsky, D. (2022). Ultrathin coatings for the repair of asphalt and cement pavements of roads, streets and squares. *Collection of Abstracts of the International Scientific and Technical Conference, KHNADU*, 19–23 [in Ukrainian].

24. Ostroverkhii, O. Designing of slurry seal layers of pavements. Candidate's thesis. Kyiv [in Ukrainian].

25. Salomon, D. (2006). Transportation research circular E-C102: Asphalt emulsion technology. Transportation Research Board, Washington, DC, 1–24.

26. Aashto G. (1993). Guide for design of pavement structures. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC, 1.

27. Bitumni sumishi. Metody vyprobuvannia haryachykh asfal'tobetonnykh sumishchei. Chastyna 43. Stiikist' do palyva [Bituminous mixtures. Test methods for hot asphalt mixtures. Part 43: Resistance to fuel] (2022). *DSTU EN 12697-43:2022 from 31st December 2023*. Kyiv: DP "UkrNDNC" [in Ukrainian].

28. Bitumomineral'ni sumishi. Metody vyprobuвання haryachykh asfal'tobetonnykh sumishchei. Ch. 41. Vyznachennia stikosti do protyozhelednykh ridin [Bituminous mineral mixtures. Test methods for hot asphalt mixtures. Part 41: Resistance to anti-icing fluids] (2019). *DSTU EN 12697-41:2019 from 1st October 2019*. Kyiv: DP "UkrNDNC" [in Ukrainian].
29. Bitumomineral'ni sumishi. Tekhnichni umovy. Chastyna 20. Metody typovykh vyprobuvan' [Bituminous mineral mixtures. Technical specifications. Part 20. Methods of typical tests] (2018). *DSTU EN 13108-20:2018 from 1st October 2019*. Kyiv: DP "UkrNDNC" [in Ukrainian].
30. Ministry of Defense of Ukraine. (2013). Instruktsiia z eksploatatsii aerodromiv derzhavnoi aviatsii Ukrainy (Iz zminamy, vnesenymy zhidno z Nakazom Ministerstva oborony № 348 vid 23.09.2020). Kyiv: Ministerstvo oborony Ukrainy [in Ukrainian].
31. DBN V.2.2-XX:2022 (2022). Proiekt, druha redaktsiia [Project, second edition]. Kyiv: Ministerstvo rozvytku hromad ta terytorii Ukrainy [in Ukrainian].
32. SNiP 3.06.06-88 (1988). Aierodromy [Airfields]. Moscow: Derzhbud SRSR.
33. SNiP 2.05.08-85 (1985). Aierodromy [Airfields]. Moscow: Derzhbud SRSR.
34. Sumishchi asfal'tobetonni i asfal'tobeton dorozhnii ta aierodromnyi. Tekhnichni umovy [Asphalt concrete and road and airfield asphalt concrete mixtures. Technical specifications]. (2011). *DSTU B V.2.7-119:2011 from 1st October 2012*. Kyiv: Minregion Ukrainy.
35. Sumishchi asfal'tobetonni ta asfal'tobeton. Tekhnichni umovy. Chastyna 1. Hariachi sumishchi [Asphalt concrete mixtures and asphalt concrete. Technical specifications. Part 1. Hot mixtures]. (202_). *Proiekt DSTU 9290-1:202_*. Kyiv: Minregion Ukrainy.
36. Sidun, Yu. (2017). Pidvyshchennia shvydkosti naboru koheziinoyi mistnosti litikh kholodnykh emul'siyno-mineral'nykh sumishchei [Increasing the rate of cohesion strength development of cast cold emulsion-mineral mixtures] *Candidate's thesis*. Lviv: Lviv Polytechnic National University [in Ukrainian].
37. Wollis, O. (2023). Dorozhni kationni bitumni emul'sii na orfifosfornyy kisloti z pokraschennymy vlastyvostyamy [Road cationic bituminous emulsions based on orthophosphoric acid with improved properties] *Candidate's thesis*. Lviv: Lviv Polytechnic National University [in Ukrainian].
38. Rushing, J. (2012, August 28–30). Full-scale field trials of asphalt concrete preventive maintenance techniques for airfield pavements. *Seventh International Conference on Maintenance and Rehabilitation of Pavements and Technological Control (MAIREPAV7)*. Australian Road Research Board (ARRB), Auckland, New Zealand.
39. Humphries, E., & Lee, S.J. (2015). Evaluation of pavement preservation and maintenance activities at general aviation airports in Texas: Practices, Perceived Effectiveness, Costs, and Planning. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2471 (1), 48–57. Retrieved from <https://doi.org/10.3141/2471-07>.
40. Dzwilewski, P.-P., Espinoza, A., Peshkin, D., Trejos, C., Dunn, S.M., & Ashburn, R. (2022). Airport pavement surface treatment: A literature review. *United States Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Airport Engineering Division*. Retrieved from <https://doi.org/10.21949/1524476>.
41. Parish, J., & Mackenzie, J. (1994). The use of thin film slurry surfacing on military airfield pavements in the UK. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport*, 105, 179–185. Retrieved from <https://doi.org/10.1680/itrans.1994.26793>.
42. Yuan, J., Xu, S., Hou, X., Xiao, F., Jiang, C., & Luo, Y. (2018). Functional layer designation of combined chip seal and slurry seal in airport pavement. *Journal of Testing and Evaluation*, 46, 20160431. Retrieved from <https://doi.org/10.1520/JTE20160431>.
43. Saraf, C., Majidzadeh, K., & Kumar, V. (1992). Criteria for use of seal coats on airport pavements. *Transportation Research Record*, 122.
44. Ministry of Defense. (2016). Specification 045: Slurry surfacing (Slurry seal and microsurfacing) for airfields. Defence Estates, UK Government. Retrieved from <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a7908c940f0b676f4a7d594/Spec45.pdf>.
45. Ahiieieva, H., et al. (2022). Proiektuvannia ta budivnytstvo aerodromnykh kompleksiv [Design and construction of airfield complexes] (V. Karpov, Ed.). Ol'di plyus. [in Ukrainian].
46. Pokryv z litoi emul'siyno-mineral'noi sumishi. Vymohy [Coating of cast emulsion-mineral mixture. Requirements]. (2023). *DSTU EN 12273:2023. (EN 12273:2008, IDT) from 1st June 2024*. Kyiv, 2023 [in Ukrainian].
47. Sumishchi liti emul'siyno-mineral'ni. Tekhnichni umovy [Cast emulsion-mineral mixtures. Technical specifications] (2014). *SOU 42.1-37641918-119:2014*. 24 s. [in Ukrainian].
48. Dubyk, O. (2023). Pro aktual'nist' rozroblenia polozhen' ta metodyk otsinky stanu ta vidnovlennia aerodromnykh pokryttiv [On the relevance of developing provisions and methodologies for evaluating the

condition and restoration of airfield pavements]. *Airport Planning, Construction and Maintenance Journal*, 2023 (2), 38–50 [in Ukrainian].

49. Nouryon. (n.d.). Slurry seal and microsurfacing asphalt applications. Retrieved from <https://www.nouryon.com/globalassets/inriver/resources/brochure-asphalt-slurry-seal-microsurfacing-global-en.pdf>.

50. Asfaltobetonni sumishi ta asfaltobeton dorozhni na osnovi bitumiv, modifikovanykh polimeramy. Tekhnichni umovy [Asphalt concrete mixtures and road asphalt concrete based on bitumens modified with polymers. Technical specifications]. (2019). *DSTU 8959:2019 from 1st January 2021*. Kyiv: “UkrNDNC” [in Ukrainian].

51. Bitum ta bitumni v’yazuchi. Bitumy dorozhni, modifikovany polimeramy. Tekhnichni umovy [Bitumen and bituminous binders. Road bitumens modified with polymers. Technical specifications]. (2021). *DSTU 9116:2021 from 1st March 2022*. Kyiv: “UkrNDNC” [in Ukrainian].

52. Bitum ta bitumni v’yazuchi. Bitumy dorozhni, modifikovany kompleksamy dobavok. Tekhnichni umovy [Bitumen and bituminous binders. Road bitumens modified with additive complexes. Technical specifications] (2021). *DSTU 9133:2021 from 1st August 2022*. Kyiv: “UkrNDNC” [in Ukrainian].

53. Bitumomineral’ni sumishi. Natsional’ni vymohy do shchebenievo-mastykovykh asfaltobetonnykh sumishchei zhidno z DSTU EN 13108-5 [Bituminous mineral mixtures. National requirements for stone mastic asphalt mixtures according to DSTU EN 13108-5] (2024). *DSTU 9282:2024 from 1st November 2024*. Kyiv: “UkrNDNC” [in Ukrainian].

54. Bitumomineral’ni sumishi. Tekhnichni umovy. Chastyna 5. Shchebenievo-mastykovyi asfaltobeton (EN 13108-5:2016, IDT) [Bituminous mineral mixtures. Technical specifications. Part 5. Stone mastic asphalt] (2018). *DSTU EN 13108-5:2018 from 1st July 2019*. Kyiv: “UkrNDNC” [in Ukrainian].

55. Poverkhneva obrobka. Tekhnichni umovy (EN 12271:2006, IDT) [Surface treatment. Technical specifications] (2021). *DSTU EN 12271:2021 from 1st July 2019*. Kyiv: “UkrNDNC” [in Ukrainian].

56. Aierodromy tsyvil’ni. Terminy ta vyznachennia [Civil airports. Terms and definitions]. (1995). *DSTU 3228-95 from 1st July 2019*. Kyiv [in Ukrainian].