

УДК 625.7/8

Терещенко Т. А., канд. хім. наук, <https://orcid.org/0000-0001-7584-9031>

Державне підприємство «Національний інститут розвитку інфраструктури» (ДП «НІРІ»),
м. Київ, Україна

ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ДОГЛЯДУ ЗА БЕТОНОМ ДОРОЖНЬОГО ПОКРИВУ ТА СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО СТВОРЕННЯ ІЗОТРОПНОЇ МАКРОТЕКСТУРИ ПОВЕРХНІ

Анотація

Вступ. У вступі до статті розглянуто необхідність виконання догляду за бетоном дорожнього покриття і окреслено сучасні технології догляду за бетоном.

Проблематика. Тематика статті стосується критеріїв упровадження двостадійного або одностадійного догляду за бетоном дорожнього покриття і застосування комбінованих продуктів на основі речовин для догляду за бетоном для створення ізотропної макротекстури поверхні.

Мета. Метою статті є аналізування режимів і елементів догляду за бетоном, зокрема з застосуванням комбінованих продуктів з речовиною для догляду за бетоном, а також прийнятих у світовій практиці кількісних критеріїв визначення режимів догляду за бетоном дорожнього покриття.

Результати. Проаналізовано вплив догляду за бетоном, у його пластичному стані та на етапі набирання міцності, на структуру і властивості бетону і показано особливу практичну значущість догляду за бетоном для бетонування бетоноукладачами з ковзною опалубкою.

Розглянуто режими та елементи початкового догляду за бетоном, виділено найбільш суттєві для великих проектів складники початкового догляду. Проаналізовано застосовувані кількісні критерії призначення початкового догляду за бетоном дорожнього покриття.

Також проаналізовано режими та елементи одностадійного догляду за бетоном, які можуть бути прийняті й для завершального догляду у разі двостадійної технології. Розглянуто характеристики речовин для догляду за бетоном, визначувані стандартними методами.

Стисло розглянуто застосування поверхневих сповільнювачів тужавлення у складі комбінованого продукту з речовиною для догляду за бетоном для створення ізотропної макротекстури поверхні бетонного покриття.

Висновки. Надано висновки щодо:

- практик призначення двостадійного догляду за бетоном дорожнього покриття;
- кількісних критеріїв для визначення режимів догляду за бетоном дорожнього покриття;
- практик догляду за бетоном дорожнього покриття з застосуванням речовини для догляду за бетоном;
- технологій із застосуванням комбінованих продуктів на основі речовини для догляду за бетоном для створення ізотропної макротекстури поверхні дорожнього покриття.

Ключові слова: автомобільна дорога, бетон, догляд за бетоном, дорожній покриття, етапи догляду за бетоном, поверхня бетону з розкритим заповнювачем, речовина для догляду за бетоном.

Вступ

Догляд за бетоном є заходом, що впроваджують для забезпечення вологого і температурного стану бетону в ранньому віці, за якого відбуваються реакції гідратації і пуцоланічні реакції¹ — внутрішні температура та вологість під час твердіння мають безпосередній вплив на властивості

¹ Реакції пуцоланів, а також сульфатів і карбонатів окремо у складі гідралічного в'язучого.

бетонів у ранньому та проектному віці [1]. Належне виконання догляду за бетоном запобігає швидкій втраті води бетоном у пластичному стані й забезпечує повноту реакцій гідратації цементу. Важливим є застосування режимів та елементів догляду за бетоном якомога раніше після укладання та продовження догляду до досягнення глибини реакцій гідратації, що забезпечує потрібні властивості отверділого бетону.

Потенційно можуть бути створені умови, коли догляд за бетоном не потребуватиметься, проте для конструкцій дорожнього одягу, шари якого в разі бетонування *in situ* характеризуються великим значенням співвідношення площі відкритої поверхні та об'єму, а також умовами витримування на об'єкті, догляд за бетоном є обов'язковим [2].

Догляд за бетоном дорожнього покриття розпочинають безпосередньо після укладання, що потенційно дозволяє поєднувати елементи догляду за бетоном із засобами досягнення інших ефектів. Так, сучасні технології улаштування жорсткого дорожнього одягу передбачають застосування комбінованих продуктів на основі речовини для догляду за бетоном, які надають можливість створювати текстуру поверхні в пластичному стані бетону — технології є більш поширеними в Європі [3]. Застосування таких продуктів у процесі влаштування бетонного покриття, а також методи випробувань встановлено європейськими нормативними документами серій EN 13877 та CEN / TS 14754, з якими гармонізовано національні стандарти України шляхом виконання ідентичного перекладу.

Ураховуючи викладене, у пропонованій статті проаналізовано режими та елементи догляду за бетоном дорожнього покриття, а також засади впровадження різних етапів догляду і створення ізотропної макротекстури поверхні в пластичному стані бетону.

Догляд за бетоном: вплив на властивості та етапи догляду

Неналежне виконання або відсутність догляду за бетоном призводять до невідповідних фізико-механічних властивостей бетону й утворення дефектів і пошкоджень, які переважно проявляються через зниження міцності бетону, особливо в приповерхневому шарі, а також утворення тріщин різної етіології та механічні пошкодження поверхні [2]. Тріщини можуть утворюватися на різних етапах твердіння бетону; вплив відповідних негативних чинників різною мірою регулюється режимами догляду за бетоном. Найбільш поширеною проблемою є утворення тріщин унаслідок пластичної усадки (*plastic shrinkage cracking, PSC*), яке спостерігається до початку тужавлення гідравлічного в'язучого. *PSC* призводить до утворення паралельних довгих тріщин, які згодом можуть розвиватися на значну глибину, або сітки мілких тріщин глибиною (15 – 30) мм. Тріщини *PSC* можуть бути непомітні на опорядженій поверхні та можуть не спричиняти проблем на ранніх етапах експлуатування конструкції, проте вони забезпечують доступ агресивного середовища в тіло бетону і зниження стійкості до циклічного заморожування / відтавання. Іншим чинником утворення тріщин є термічні напруження — хоча ці процеси більш притаманні бетону масивних споруд, у шарі бетону дорожнього одягу може виникати суттєвий градієнт температур у напрямку від поверхні вглиб шару. Третім вагомим чинником утворення тріщин є усадка бетону під час висихання, проте цей чинник є найменш залежним від режимів догляду за бетоном — першочергове значення має відносний уміст цементного тіста в складі бетону й основним запобіжним заходом є нарізання швів стискання в улаштованому шарі. Поряд з цим інтенсивна усадка бетону внаслідок висихання впродовж перших кількох діб може призвести до утворення тріщин у місцях, що не відповідають розрахунковій довжині плити; водночас термічні напруження та напруження в бетоні внаслідок усадки під час висихання можуть мати адитивний ефект і значно підсилювати потенціал утворення тріщин — відповідно роль догляду за бетоном для запобігання термічним впливам та усадці під час висихання є ваговою.

З урахуванням описаних проблем загальною задачею догляду за бетоном є створення умов для відтермінування виникнення напружень, допоки бетон не набуде міцності, достатньої для протидії напруженням.

Для впровадження режимів та елементів догляду за бетоном існують певні засади й кількісні критерії. Відношення маси води до маси цементу, за якого забезпечено повноту реакцій гідравлічного в'язучого, становить орієнтовно 0,42 [4] — вода, що відділяється від бетонної суміші та утворює плівку витісненої води (цементного молока) на поверхні, умовно є надлишковою й не бере участі в реакціях гідравлічного в'язучого. Утворення такої плівки запобігає швидкому висиханню бетону в ранньому віці, швидкому випаровуванню води з приповерхневого шару бетону. Оптимальним часом для початку догляду за свіжоукладеним бетоном є початок тужавлення гідравлічного в'язучого, коли продукти гідратації у вигляді кристалогідратів перекривають частинки заповнювача; водночас це орієнтовно є час закінчення виділення цементного молока (витіснення води). Поряд з цим у разі, коли швидкість випаровування перевищує швидкість витіснення води (з утворенням поверхневої плівки), догляд за бетоном може бути впроваджений раніше — за таких умов існує висока ймовірність утворення *PSC*, а також внутрішнього зневоднювання бетону (*internal desiccation*), що руйнує структуру матеріалу; автори [2] стверджують, що внутрішнє зневоднювання спостерігається для бетонів зі значеннями $w/cm < 0,40$. Швидке випаровування води може бути охарактеризоване як критичне висихання бетону (*critical drying*) [5].

Таким чином процес догляду за свіжоукладеним бетоном дорожнього покриття має на меті уповільнення випаровування води і, у разі несприятливих умов бетонування та/або особливостей складу бетону, — недопущення критичного переходу від випаровування «умовно надлишкової» води до випаровування води, яка має забезпечувати реакції гідравлічного в'язучого. До основних елементів догляду за бетоном за сучасними технологіями відносять зрошування водним туманом (*fogging*), застосування речовин для догляду за бетоном (*curing compound*); в окремих першоджерелах зазначено застосування сповільнювачів випаровування². З урахуванням граничних умов може бути впроваджено два етапи догляду за бетоном — початковий догляд (*initial curing*) та завершальний догляд (*final curing*). Якщо є ймовірним процес критичного висихання бетону, догляд за свіжоукладеним бетоном розпочинають з етапу початкового догляду, одразу після укладання бетону. Якщо критичне висихання бетону не очікується, догляд виконують через режими/елементи, ідентичні до режимів/елементів завершального догляду [5].

Зовнішніми чинниками швидкого випаровування води у свіжоукладеному бетоні на місці бетонування можуть бути температура повітря, відносна вологість і швидкість вітру (для отримання більш точних даних беруть на відстані до 0,5 м від поверхні шару бетону [2]); також має значення температура бетонної суміші, проте цей чинник певною мірою піддається регулюванню під час виготовлення. Залежність швидкості випаровування від зазначених чинників згідно з даними [6] наведено, у метричній системі одиниць, на **рис. 1**.

На **рис. 1** додатково наведено послідовність (приклад) визначення швидкості випаровування води, яке розпочинають з вибору значення температури повітря на місці бетонування і виконують відповідно до вихідних даних щодо фактичних значень відносної вологості повітря, температури бетонної суміші та швидкості вітру на місці виконання робіт.

Тривалість догляду за бетоном згідно з даними [2] установлюють як фіксований час за певних значень температур на об'єкті, або як таку, що забезпечує набирання бетоном міцності відповідно до певного відсотку від проектного значення, проте кількісні дані не є застосовними для аналізування — інформація щодо вимог до класів міцності бетонів у розглянутих першоджерелах відсутня.

² Інформація стосовно технічних характеристик сповільнювачів випаровування (*evaporation retarder*, *evaporation reducer*) чи нормування властивостей таких речовин є обмеженою.

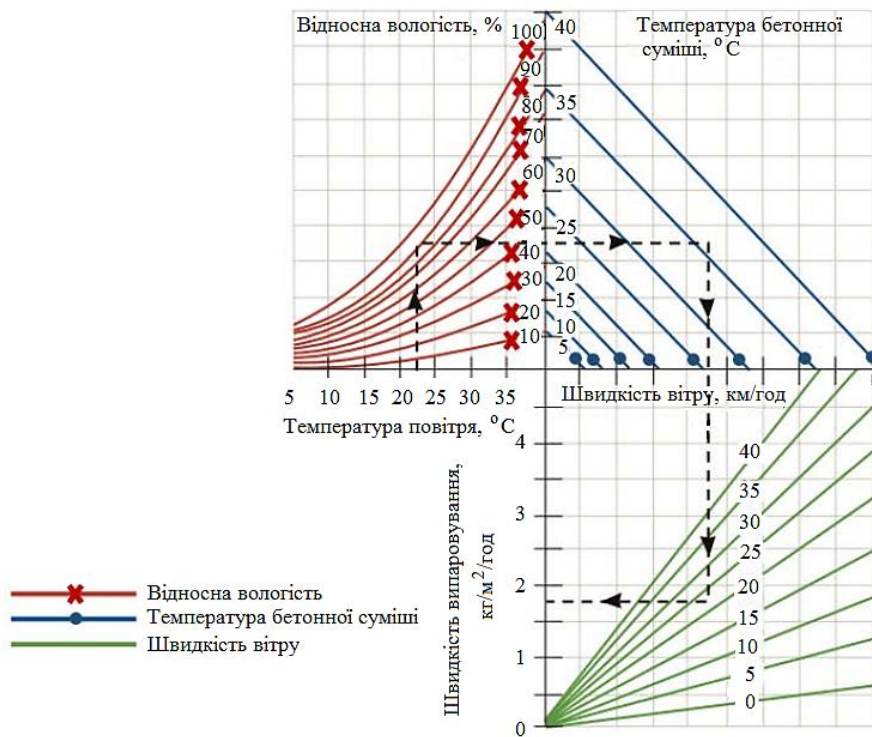


Рисунок 1 — Номограма для оцінювання швидкості випаровування згідно з даними [6]³

Режими та елементи початкового догляду за бетоном

Основною задачею початкового догляду за бетоном є уповільнення випаровування витісненої води та забезпечення тужавлення без утворення тріщин пластичної усадки — таким чином початковий догляд, на відміну від завершального, спрямований на забезпечення розвитку певних фізичних властивостей матеріалу.

Початковий догляд за бетоном розпочинають безпосередньо після укладання і виконують до початку завершального догляду, який, оптимально, прирівнюють до початку тужавлення. Тривалість початкового догляду становить декілька годин; режими та елементи завершального догляду на цьому етапі як правило не можуть бути застосовані у зв'язку з нерозвиненістю структури бетону [2, 4]. Найбільш поширеними передумовами призначення початкового догляду є високі температура повітря та швидкість вітру під час бетонування. Режими та елементи початкового догляду за бетоном повинні охоплювати процедури регулювання температури бетонної суміші, зрошування поверхні шару водним туманом, також застосування сповільнювачів випаровування.

Кількісною оцінкою для призначення початкового догляду згідно з [2, 5, 6] є ймовірність виникнення критичних умов випаровування згідно з номограмою **на рис. 1** — критичною точкою вважають швидкість випаровування 0,98 кг/м²/год [6]. Іншим важливим чинником призначення етапу початкового догляду є особливості складу бетону. Як зазначають автори [5], бетони зі значенням *w/cm* менше ніж 0,45 характеризуються низькою швидкістю витіснення води; іншим чинником такого негативного впливу є тонина помелу гідралічного в'язучого, що особливо проявляється за значень питомої поверхні за Блейном понад 400 м²/кг. Бетони для бетонування

³ Вихідну номограму було розроблено у системі одиниць «дюйм – фунт» Американським Інститутом Бетону (ACI) [4].

бетоноукладачами з ковзною опалубкою характеризуються низькими значеннями w/cm , для них швидкість випаровування як правило перевищує швидкість витіснення води; початок утворення плівки витісненої води на поверхні шару (виділення цементного молока) може спостерігатися орієнтовно через 20 хв після укладання, проте може й не спостерігатися, що може призводити до неможливості або до неякісного опоряджування поверхні шару. Автори [2] зазначають, що для бетонів для бетонування бетоноукладачами з ковзною опалубкою, залежно від швидкості витіснення води, небезпечною може бути швидкість випаровування починаючи від значення $0,3 \text{ кг/м}^2/\text{год}$.

Згідно з [2] найбільш вагомими елементами початкового догляду є регулювання температури бетонної суміші шляхом регулювання температури складників — у даному першоджерелі наведено алгоритм відповідних розрахунків згідно з рекомендаціями *ACI (American Concrete Institute)*, а також застосування сповільнювачів випаровування. Для проектів зі значним обсягом робіт найбільше практичне значення має регулювання температури бетонної суміші.

Потрібно додати, що певні загальні вимоги національного стандарту України [7] є більш «критичними», ніж зазначені авторами [5, 6]: наприклад, максимальне значення питомої поверхні цементів становить $420 \text{ м}^2/\text{кг}$, мінімальне значення водоцементного відношення для бетонів дорожнього покриття — $0,38$, що потребує особливої уваги під час добирання складу бетонів відповідно до технологій виконання робіт.

У першоджерелі [1] зазначено, що початковий догляд як спосіб запобігання утворенню *PSC* рекомендовано призначати за швидкості випаровування в орієнтовному інтервалі $(0,5 - 1,0) \text{ кг/м}^2/\text{год}$, переважно із застосуванням сповільнювачів випаровування, проте коли очікувана швидкість випаровування становить $1,00 \text{ кг/м}^2/\text{год}$ та більше, рекомендованим є зрошування водним туманом. Початковий догляд доцільно виконувати через зрошування водним туманом також за низької відносної вологості повітря — як ефективний захід її підвищення безпосередньо над поверхнею шару. Конструкція та характеристики обладнання для зрошування водним туманом, зокрема форсунок, принципово відрізняються від іншого обладнання для розподілення води та розчинів у тім, що унеможливають утворення надлишку води на поверхні шару бетону [6].

У випадках, коли умови бетонування з урахуванням номограми на **рис. 1** призводитимуть до швидкості випаровування понад $1,0 \text{ кг/м}^2/\text{год}$ та коли заходи з запобігання утворенню тріщин пластичної усадки не можуть вважатися ефективними, роботи зупиняють до настання більш сприятливих умов бетонування [1].

Режими та елементи одностадійного догляду за бетоном

Основною задачею одностадійного (завершального — у випадку виконання другим етапом) догляду за бетоном є пригнічення випаровування води з поверхні бетону так, щоб забезпечити процес гідратації гідравлічного в'язучого впродовж семи діб або більше і набирання бетоном міцності⁴. Відповідно до сучасних технологій догляд виконують нанесенням речовин для догляду за бетоном на відкриті поверхні шару. Найбільш застосовними та стандартизованими відповідно до методів випробувань різних систем стандартизації є речовини для догляду за бетоном, які переважно мають плівкотвірні властивості; застосування таких речовин у проектах зі значними обсягами робіт визнано більш доцільним, ніж виконання вологого догляду (*wet curing, moist curing, ponding*).

Речовини для догляду за бетоном можуть постачатися у вигляді водної емульсії органічних речовин, а також можуть бути пігментовані, з наданням утвореній плівці білого кольору, для

⁴ Автори [6] характеризують елементи та режими завершального догляду за бетоном як «звичайний» догляд за бетоном (*conventional curing*) у випадку, коли етап початкового догляду не призначають.

запобігання нагріванню поверхні за впливу сонячних променів. Застосування плівкоутворюючих речовин з білим пігментом або таких, що утворюють напівпрозору плівку (містять нестійкий пігмент світлого кольору) водночас дозволяє контролювати якість нанесення речовини, якість утвореної плівки. Поряд з цим автори [6] зазначають більш високу ефективність речовин для догляду за бетоном у вигляді розчинів.

Догляд із застосуванням речовини для догляду за бетоном розпочинають одразу після опорядкування (текстурування) поверхні шару та переважно призначають так, щоб початок догляду співпадав із завершенням виділення цементного молока, якщо таке спостерігається, що (орієнтовно може бути оцінено візуально, за втратою поверхнею шару глянсу). У більшості аналізованих першоджерел зазначено, що плівкоутворюючі речовини для догляду за бетоном потрібно наносити на вологу поверхню шару. Поряд з цим нанесення речовини для догляду за бетоном до завершення витіснення води може призвести до розчинення плівки або до скупчення води під утвореною плівкою, відповідно – до її пошкодження або відшарування.

Найбільш практично ваговою характеристикою речовин для догляду за бетоном є водоутримувальна здатність, яку визначають відповідно до методів випробувань, стандартизованих у регіональній (стандарти EN) та міжнародній (стандарти ASTM) системах стандартизації. Відповідно до результатів випробувань у системі стандартів ASTM ефективними визнають продукти, що обмежують втрати води максимальним значенням $0,55 \text{ кг/м}^2$, проте для бетонування за високих температур це значення може бути зменшено до $0,39 \text{ кг/м}^2$ [2]. Згідно зі стандартами системи ASTM визначають також час висихання плівки речовини для догляду за бетоном (згідно з [2] рекомендовано не більше ніж 4 год за швидкості випаровування $0,43 \text{ кг/м}^2/\text{год}$), уміст летких речовин та в'язкість – особливо для випадків нанесення на текстуровану поверхню шару.

У разі застосування бетоноукладачів із ковзною опалубкою речовину для догляду за бетоном наносять на горизонтальну та бічні поверхні. У разі застосування бетоноукладачів з рейкоформами її наносять на горизонтальну поверхню, та за видалення рейкоформ у ранньому віці – на бічні поверхні. Потрібно забезпечувати суцільне рівномірне покриття поверхні шару бетону, оскільки навіть незначні дефекти утвореної плівки призводять до суттєвого підвищення втрат води. Речовин для догляду за бетоном наносять із застосуванням розподільвача з рамою, спорядженою форсунками, що перекидає всю ширину смуги бетонування. Згідно з [6], залежно від умов може потребуватися дворазове нанесення в напрямках «під прямим кутом». Тиск у форсунках рекомендовано підтримувати в межах $(0,2 - 0,7) \text{ МПа}$ або згідно з рекомендаціями виробника речовини для догляду за бетоном. Автори [4] підкреслюють, що норми витрат речовини для догляду за бетоном можуть потребувати уточнення з урахуванням текстури поверхні — зі створенням борозенок та насічок ефективна площа поверхні шару суттєво збільшується; як приклад наводять результати досліджень, де збільшення площі текстурованої поверхні відносно нетекстурованої становить від 25 % до 50 %.

У разі виконання догляду за бетоном зі зволоженням потрібні умови зволоження підтримують упродовж семи діб або до нанесення речовини для догляду за бетоном. У разі застосування зволоженого матеріалу (волога тканина) регламентують обмеження щодо різниці температур бетону і захисного матеріалу не більше ніж на $10 \text{ }^\circ\text{C}$ у разі більш холодного захисного матеріалу. Також потрібно встановлювати обмеження щодо рідких речовин для запобігання їхньому скупченню на поверхні шару бетону [2].

Завершальний догляд може бути виконаний через застосування рулонних полімерних матеріалів, зокрема як додатковий (до застосування речовин для догляду за бетоном) захід для захисту від опадів. Для захисту від охолодження та зберігання тепла екзотермічних процесів гідратації виконують догляд за бетоном із застосуванням теплоізоляційних матів — згідно з [1] теплоізоляційні мати також розглядають як додатковий (до застосування речовин для догляду за бетоном) захід. Для запобігання термічному шоку й утворенню тріщин у бетоні перед видаленням

теплоізоляційних матів потрібно ураховувати різницю температур між захищеним бетоном і температурою повітря ззовні.

Створення ізотропної макротекстури поверхні бетону в пластичному стані із застосуванням сучасних технологій догляду

Макротекстуру поверхні шару бетонного покриття може бути створено за пластичного стану бетону або для затверділого бетону — через шліфування поверхні абразивними елементами з алмазним напиленням.

Технології текстурування поверхні бетону в пластичному стані можна розділити на такі, що дозволяють створювати анізотропну або ізотропну макротекстуру [3]. Оброблення поверхні металевими навісними щітками, насікання поверхні (*brooming, tining*) або оброблення з допомогою мішківини, прикріпленої до фінішера (*drag texture*) призводять до створення анізотропної текстури — ці технології є поширеними, наприклад, у США.

Технологія, поширена у Європі (згідно з [3, 8, 9] є широко застосовуваною в дорожньому будівництві в Німеччині, Бельгії, Польщі), а також у Британії [10], дозволяє створювати ізотропну макротекстуру поверхні бетонного покриття шляхом застосування поверхневих сповільнювачів тужавлення (*surface retarder*), зокрема у складі комбінованого продукту з речовиною для догляду за бетоном. Технологію ґрунтовано на видаленні поверхневого шару незатверділого цементного тіста з метою розкриття заповнювача на поверхні бетону (*exposed aggregate concrete surface, EACS* — англійський термін, наведений у термінологічному розділі стандарту [11], проте в англійській літературі та документації для опису ідентичного технічного змісту може бути застосовано термін *stripped concrete*). Упорядковане розташування на поверхні розкритих зерен заповнювача поряд з розвинutoю макротекстурою поверхні забезпечує належний опір поверхні покриття зсуву колеса ТЗ [12] і водночас знижує рівень шуму під час контакту колеса з поверхнею.

Технологію *EAC* ефективно застосовують у процесі влаштування жорсткого дорожнього одягу з безперервно армованим бетонним покритвом (*CRCP, continuously reinforced concrete pavement*) та шовним бетонним покритвом (*JPCP, jointed plain concrete pavement*). У першоджерелі [10] описано реалізацію технології *EAC* через застосування комбінованого продукту на основі поверхневого сповільнювача тужавлення і речовини для догляду за бетоном – поверхнєве цементне тісто видаляли обробленням щіткою орієнтовно через 24 год після нанесення комбінованого продукту, після чого наносили речовину для догляду за бетоном окремо; автори стверджують, що описану технологію *EAC* було успішно застосовано в Британії на автомобільних дорогах різних категорій. У першоджерелі [13], де технологію *EAC* (*der Waschbeton* нім.) вказано як усталену в дорожньому будівництві, зазначено, що технологічний ефект застосування комбінованого продукту на основі поверхневого сповільнювача тужавлення і речовини для догляду за бетоном є аналогічним до такого від застосування поверхневого сповільнювача тужавлення із додатковим захистом поверхні плівкою – другу технологію описано в більш ранніх першоджерелах [9].

Застосування в дорожньому будівництві комбінованих продуктів на основі поверхневого сповільнювача тужавлення і речовини для догляду за бетоном для технологій *EAC* регламентовано через положення нормативних документів системи EN щодо методів випробувань — так, згідно з [11] комбінований продукт поверхневого сповільнювача тужавлення та речовини для догляду за свіжоукладеним бетоном потрібно нормувати згідно з [14] чи застосовувати правила, прийняті в місці використання.

У технічних умовах щодо дорожнього бетону [15] (Німеччина) зазначено вимоги стосовно випробувань бетонних плит-зразків із застосуванням сповільнювача тужавлення для створення *EACS* окремо — випробування виконують через вимірювання текстури на обробленій поверхні плити-зразка, виготовленої з визначених матеріалів, за визначеною технологією, на площі не менше ніж 900 см².

Описану технологію створення ізотропної макротекстури може бути охарактеризовано як таку, що на рівні мегатекстури поверхні покриття може призводити до посилення ефектів динамічного впливу під час руху ТЗ, проте не можна виключати, що вирішальне значення на прояв ефектів динамічного впливу мають інші чинники, які не охоплено представленою в статті тематикою.

Висновки

Розглянуті технології догляду за бетоном дорожнього покриття передбачають виділення, за потреби, двох етапів догляду, де основною задачею початкового догляду є захист бетону від розвитку деформацій у пластичному стані, завершального догляду — захист бетону від розвитку напружень на етапі набирання міцності.

В окремих технологіях упроваджено кількісне оцінювання чинників впливу на етапі початкового догляду. Найбільш поширеним та доступним елементом початкового догляду є регулювання температури бетонної суміші шляхом регулювання температури складників під час виготовлення суміші. У разі оцінювання режимів та елементів початкового догляду як низькоефективних, роботи виконують з настанням більш сприятливих умов бетонування.

За належних умов, догляд за бетоном можна виконувати в один етап. Сучасні технології догляду за бетоном передбачають застосування речовин для догляду за бетоном, які, переважно, мають плівкотвірні властивості і вимоги до яких і методи випробувань стандартизовані в різних системах стандартизації.

Технології із застосуванням речовин для догляду за бетоном дозволяють ефективно підтримувати процеси утворення структури і розвитку потрібних властивостей бетону, а також застосовувати багатофункціональні продукти, які водночас підтримують технології створення ізотропної макротекстури поверхні шару дорожнього покриття — поверхні бетону з розкриттям заповнювача.

Список літератури

1. Taylor, P., Van Dam, T., Sutter, L., and Fick, G. Integrated Materials and Construction Practices for Concrete Pavement: A State-of-the-Practice Manual – second edition. National Concrete Pavement Technology Center, Iowa State University — Institute for Transportation. 2019. 338 p. URL: https://www.intrans.iastate.edu/wp-content/uploads/2019/05/IMCP_manual.pdf (дата останнього звернення 12.06.2024).
2. Toy S. Pool. Guide for curing of Portland Cement concrete pavements. Volume I. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. Report No. FHWA-RD-02-099. 2005. 52 p. URL: https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/35604/dot_35604_DS1.pdf (дата останнього звернення 29.07.2025).
3. Zhen Leng, Zepeng Fan, Pengfei Liu, Jonas Kollmann, J., Markus Oeser, M., Dawei Wang, Xi Jiang. Texturing and evaluation of concrete pavement surface: A state-of-the-art review. *Journal of Road Engineering*, No. 3 (2023), P. 252–265. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2097049823000379> (дата останнього звернення 29.07.2025).
4. Toy S. Pool. Guide for curing of Portland Cement concrete pavements. Volume II. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. Report No. FHWA-HRT-05-038. 2006. 173 p. URL: <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/pccp/05038/index.cfm> (дата останнього звернення 01.07.2025).
5. Taylor, P., and Ozyildirim, C. Curing Practice for Slipformed Concrete Pavements. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. Concrete Pavement Technology Program Tech Brief FHWA-IF-06-003. 2005. 6 p. URL: <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/pccp/pubs/06003/06003.pdf> (дата останнього звернення 29.05.2024).

6. Van Dam, T. Curing Concrete Paving Mixtures. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. Tech Brief FHWA-HIF-18-015. 2018. 6 p. URL: <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/concrete/pubs/hif18015.pdf> (дата останнього звернення 25.06.2024).
7. ДСТУ 8858:2019 Суміші цементобетонні дорожні та цементобетон дорожній. Технічні умови. Київ, 2020. 19 с. (Інформація та документація).
8. Glinicki, A.M., and Glinicki, M.A. Quality Assurance Methods Applied For Exposed-Aggregate Concrete Pavement Construction. Proceedings of the 12th ICCP (978-0-578-33418-9). December 31, 2021. P. 82–89. DOI: <https://doi.org/10.33593/mczou3b4>. URL: <http://www.ippt.pan.pl/repository/open/o7388.pdf> (дата останнього звернення 06.08.2025).
9. High Performance Concrete Pavement. Project Summary. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. Office of Infrastructure, Office of Pavement Technology. Publication No. FHWA-IF-06-031. 2006. 204 p. URL: <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/concrete/hpcp/hpcp.pdf> (дата останнього звернення 11.08.2025).
10. A guide to concrete road pavements. The British Cementitious Paving Association (BRITPAVE), BP/64. 2018. 16 P. URL: <https://www.eupave.eu/wp-content/uploads/BP64-Guide-to-Concrete-Road-Pavements-BRITPAVE.pdf> (дата останнього звернення 28.07.2025).
11. ДСТУ EN 13877-1:2025 (EN 13877-1:2023, IDT) Бетонні покриття. Частина 1. Матеріали. Київ, 2025. 8 с. (Інформація та документація).
12. Терещенко Т. А. Характеристики поверхні покриття дорожнього одягу. Стандартні методи вимірювання // *Автошляховик України*. 2023, № 4. С. 29–37. DOI: <https://doi.org/10.33868/0365-8392-2023-4-276-29-37>.
13. Eifert, H. Der Bau von Betonfahrbahndecken auf Straßen. Zement-Merkblatt Straßenbau. S2. 6.2007. Verein Deutscher Zementwerke, Düsseldorf, 2007. 8 p. URL: <https://www.vdz-online.de/fileadmin/wissensportal/publikationen/basiswissen/zement-merkblaetter/S2.pdf> (дата останнього звернення 06.08.2025).
14. ДСТУ CEN/TS 14754-1:2022 (CEN/TS 14754-1:2007, IDT) Речовини для догляду за свіжоукладеним бетоном. Методи випробувань. Частина 1. Визначення ефективності водоутримування звичайних речовин для догляду за свіжоукладеним бетоном. Київ, 2025. 6 с. (Інформація та документація).
15. Technical delivery terms for materials and material mixtures for base courses with hydraulic binders and concrete pavements. English Version of TL Beton-StB 07 «Technische Lieferbedingungen für Baustoffe und Baustoffgemische für Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton». Edition 2007, Translation 2012. 53 p. URL: https://www.fgsv-verlag.de/pub/media/pdf/891_E_PDF.v.pdf (дата останнього звернення 06.08.2025).

References

1. Taylor, P., Van Dam, T., Sutter, L., and Fick, G. Integrated Materials and Construction Practices for Concrete Pavement: A State-of-the-Practice Manual – second edition. National Concrete Pavement Technology Center, Iowa State University – Institute for Transportation. 2019. 338 p. URL: https://www.intrans.iastate.edu/wp-content/uploads/2019/05/IMCP_manual.pdf (Last accessed 12.06.2024) [in English].
2. Toy S. Pool. Guide for curing of Portland Cement concrete pavements. Volume I. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. Report No. FHWA-RD-02-099. 2005. 52 p. URL: https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/35604/dot_35604_DS1.pdf (Last accessed 29.07.2025) [in English].
3. Zhen Leng, Zepeng Fan, Pengfei Liu, Jonas Kollmann, J., Markus Oeser, M., Dawei Wang, Xi Jiang. Texturing and evaluation of concrete pavement surface: A state-of-the-art review. *Journal of Road Engineering*, No. 3 (2023), P. 252–265. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2097049823000379> (Last accessed 29.07.2025) [in English].

4. Toy S. Pool. Guide for curing of Portland Cement concrete pavements. Volume II. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. Report No. FHWA-HRT-05-038. 2006. 173 p. URL: <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/pccp/05038/index.cfm> (Last accessed 01.07.2025) [in English].
5. Taylor, P., and Ozyildirim, C. Curing Practice for Slipformed Concrete Pavements. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. Concrete Pavement Technology Program Tech Brief FHWA-IF-06-003. 2005. 6 p. URL: <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/pccp/pubs/06003/06003.pdf> (Last accessed 29.05.2024) [in English].
6. Van Dam, T. Curing Concrete Paving Mixtures. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. Tech Brief FHWA-HIF-18-015. 2018. 6 p. URL: <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/concrete/pubs/hif18015.pdf> (Last accessed 25.06.2024) [in English].
7. DSTU 8858:2019 Sumishi tsementobetonni dorozhni ta tsementobeton dorozhnii. Tekhnichni umovy (National Ukrainian Standard DSTU EN 13863-1:2024 8858:2019 Concrete mix and road concrete. Technical specification). Kyiv, 2020. 19 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
8. Glinicki, A. M., and Glinicki, M. A. Quality Assurance Methods Applied For Exposed-Aggregate Concrete Pavement Construction. Proceedings of the 12th ICCP (978-0-578-33418-9). December 31, 2021. P. 82–89. DOI: <https://doi.org/10.33593/mczou3b4>. URL: <http://www.ippt.pan.pl/repository/open/o7388.pdf> (Last accessed 06.08.2025) [in English].
9. High Performance Concrete Pavement. Project Summary. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. Office of Infrastructure, Office of Pavement Technology. Publication No. FHWA-IF-06-031. 2006. 204 p. URL: <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/concrete/hpcp/hpcp.pdf> (Last accessed 11.08.2025) [in English].
10. A guide to concrete road pavements. The British Cementitious Paving Association (BRITPAVE), BP/64. 2018. 16 P. URL: <https://www.eupave.eu/wp-content/uploads/BP64-Guide-to-Concrete-Road-Pavements-BRITPAVE.pdf> (Last accessed 28.07.2025) [in English].
11. DSTU EN 13877-1:2025 (EN 13877-1:2023, IDT) Betonni pokryvy. Chastyna 1. Materialy. (DSTU EN 13877-1:2025 Concrete covers. Part 1. Materials) Kyiv, 2025. 8 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
12. Tereshchenko, T. Road pavements surface characteristics standard measuring methods // A Scientific and Industrial Journal *the Avtoshliakhovyk Ukrayiny*. 2023, No. 4. P. 29–37. DOI: <https://doi.org/10.33868/0365-8392-2023-4-276-29-37> [in Ukrainian].
13. Eifert, H. Der Bau von Betonfahrbahndecken auf Straßen. Zement-Merkblatt Straßenbau. S2. 6.2007. Verein Deutscher Zementwerke, Düsseldorf, 2007. 8 p. URL: <https://www.vdz-online.de/fileadmin/wissensportal/publikationen/basiswissen/zement-merkblaetter/S2.pdf> (Last accessed 06.08.2025) [in English].
14. DSTU CEN/TS 14754-1:2022 (CEN/TS 14754-1:2007, IDT) Rechovyny dlia dohliadu za svizhoukladenym betonom. Metody vyprobuvan. Chastyna 1. Vyznachennia efektyvnosti vodoutrymuvannia zvychainykh rechovyn dlia dohliadu za svizhoukladenym betonom (National Ukrainian Standard DSTU CEN/TS 14754-1:2022 (CEN/TS 14754-1:2007, IDT) Curing compounds — Test methods — Part 1: Determination of water retention efficiency of common curing compounds). Kyiv, 2025. 6 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
15. Technical delivery terms for materials and material mixtures for base courses with hydraulic binders and concrete pavements. English Version of TL Beton-StB 07 «Technische Lieferbedingungen für Baustoffe und Baustoffgemische für Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton». Edition 2007, Translation 2012. 53 p. URL: https://www.fgsv-verlag.de/pub/media/pdf/891_E_PDF.v.pdf (Last accessed 06.08.2025) [in English].

Tatyana Tereshchenko, Ph.D., <https://orcid.org/0000-0001-7584-9031>

State Enterprise «National Institute of Development Infrastructure» (SE «NIDI»), Kyiv, Ukraine

**TECHNOLOGICAL ASPECTS OF CURING CONCRETE
FOR ROAD PAVEMENT AND MODERN APPROACHES FOR CREATING
THE ISOTROPIC SURFACE MACROTEXTURE**

Introduction. The introduction to the paper discusses the need for curing of the road pavement concrete and outlines contemporary technologies for curing processes.

Problem statement. The topic of the paper concerns the criteria for implementing two-stage or single-stage curing of the concrete of a road pavement and the use of combined products based on curing compounds to create the isotropic surface texture.

Purpose. The purpose of the paper is to analyze the regimes and elements of curing of the road pavement concrete, in particular these using combined products with a curing compound, as well as the quantitative criteria approved in the world-wide practice for the curing regime selection.

Results. The influence of curing, in the plastic state of concrete and at the stage of gaining strength, on the structure and properties of concrete is analyzed and the special practical significance of curing of slipformed concrete pavements is shown.

The modes and elements of initial curing are considered and the most significant components of initial curing for large projects are highlighted. The quantitative criteria used for the purpose of initial curing of the road pavement concrete are analyzed.

The modes and elements of single-stage curing, which can be approved for final curing in the case of two-stage technology, are also analyzed. The characteristics of curing compounds, determined by standard methods, are considered.

The use of surface retarders as a combined product with a curing compound to create an isotropic macrotexture on the surface of a concrete pavement is briefly discussed.

Conclusions. Conclusions were stated regarding:

- practices for prescribing two-stage curing of the road pavement concrete;
- quantitative criteria for determining regimes for curing of the road pavement concrete;
- practices for curing of the road pavement concrete using curing compounds;
- technologies using combined products based on curing compounds to create an isotropic macrotexture of the road pavement surface.

Keywords: concrete pavement, curing, curing compound, exposed aggregate concrete surface, road pavement, stages of curing.