

**ОСОБЛИВОСТІ ДОГЛЯДУ ЗА ТВЕРДЮЧИМ ДОРОЖНІМ БЕТОНОМ ПРИ  
ВЛАШТУВАННІ МОНОЛІТНОГО ЦЕМЕНТОБЕТОННОГО ДОРОЖНЬОГО ПОКРИВУ  
Частина 1. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МАТЕРІАЛИ,  
ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ПРИ ДОГЛЯДІ**

**FEATURES OF CURING FOR HARDENED ROAD CONCRETE WHEN INSTALLING A  
MONOLITHIC CEMENT CONCRETE ROAD SURFACE  
PART 1. THEORETICAL STUDIES AND MATERIALS USED IN CURING**



*Гамеляк Ігор Павлович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри системного проектування об'єктів транспортної інфраструктури та геодезії, e-mail: [gip65n@gmail.com](mailto:gip65n@gmail.com), +380503524124,*

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



*Дмитриченко Андрій Миколайович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортного права та логістики, e-mail: [andrew\\_d@ukr.net](mailto:andrew_d@ukr.net), +380502816006,*

<https://orcid.org/0000-0001-6144-7533>



*Яценко Єгор Сергійович, Національний транспортний університет, аспірант кафедри системного проектування об'єктів транспортної інфраструктури та геодезії, директор технічного департаменту ТОВ «Маней Україна», e-mail: [e.yaschenko@mapei.com](mailto:e.yaschenko@mapei.com), +380503527237*

<https://orcid.org/0009-0001-6970-532X>

**Анотація.** Умови твердіння бетону є основними факторами, які впливають на досягнення експлуатаційних властивостей бетонних конструкцій. Оптимальні умови забезпечують умови для протікання гідратації цементного клінкеру, визначають швидкість набору міцності, знижують ймовірність утворення усадочних тріщин і утримують достатню кількість вологи в тілі бетону для підвищення стійкості до розтріскування. На практиці на багатьох будівельних об'єктах відношення за

доглядом твердіння бетону негативне. Температурно-вологісний режим для затвердіння бетону не передбачений. Гідратація цементного клінкеру може відбуватися тільки у вологих умовах і при наявності води в капілярах цементного каменю, необхідно створення підвищеної вологості для затвердіння бетону, щоб запобігти втраті вологи через випаровування. Оптимальний тепловологісний режим твердіння бетону сприяє зменшенню пористості гідратованого цементного каменю, зменшує розмір пір і їх форму, збільшує щільність мікроструктури бетону.

**Ключові слова:** монолітний цементобетон, дорожній покриття, догляд, твердіння, гідратація, температурно-вологісний режим

**Вступ.** Під доглядом за цементобетоном розуміють комплекс заходів, спрямованих на захист від несприятливого впливу на нього зовнішнього середовища, а також створення раціональних температурно-вологісних умов твердіння цементобетону та на його захист від впливу як зовнішніх агресивних чинників навколишнього середовища, так і від внутрішніх процесів структуроутворення в цементобетоні, які можуть призвести до тріщиноутворення та подальшої втрати експлуатаційних властивостей покриття. Від якісного проведення догляду за дорожнім цементобетоном залежать його експлуатаційні характеристики

В процесі твердіння цементобетону продукти гідратації заповнюють міжпоровий простір, що в кінцевому підсумку позитивно позначається на експлуатаційних властивостях цементобетону, навіть при використанні конструкцій в агресивних середовищах. Цемент змішується з водою і в результаті фізико-хімічних реакцій цементобетон твердне. Процес займає досить багато часу, так як вода не проникає в усі частинки цементу одночасно. Він заповнює їх поступово, тому дуже важливо своєчасно доставити та укласти бетон. У спекотну погоду вода випаровується і процес затвердіння припиняється, а якщо вологи в розчині буде недостатньо, на поверхні конструкції з'являться капілярні пори і усадочні тріщини. Нормальні умови для твердіння бетону припускають температуру навколишнього середовища, близьку до 20°C, і відносну вологість повітря менше 90 ... 100%. При таких показниках процес твердіння бетону йде стрімко, вже на сьомий добу і конструкції він набирає 70% від нормативної міцності, а на 28-й добу повністю відповідає всім проектним показникам. Температура затвердіння бетону має вирішальний вплив на час, який займає процес. Чим вона прохолодніша, тим більше часу знадобиться для затвердіння конструкції, а якщо термометр нижче 0°C, процес практично зупиниться.

Втрата вологи з цементобетону, що твердіє, може бути обумовлена різними чинниками, які включають погодно-кліматичні, матеріалознавчі та технологічні аспекти.

**Погодно-кліматичні чинники:** *Температура.* Висока температура може сприяти висиханню цементобетону та прискорювати процес витягування вологи з матеріалу.

*Відносна вологість повітря.* Низька вологість повітря може призвести до швидкого випаровування вологи з поверхні цементобетону, що впливає на його властивості.

*Опади.* Довготривалі опади або вологі умови можуть сприяти повільному висиханню цементобетону.

**Матеріалознавчі та технологічні чинники:** *Склад цементобетонної суміші та співвідношення води та цементу (В/Ц).* Надмірна кількість води у змішуваній цементобетонній суміші може призвести до додаткової втрати вологи під час твердіння.

*Спосіб змішування та укладання.* Використання несприятливих технологічних методів змішування або нанесення цементобетону може призвести до нерівномірного розподілу вологи та її витрати.

**Умови догляду чи зберігання.** Умови догляду та зберігання при твердінні цементобетону грають важливу роль у збереженні вологи. Наприклад, у теплих кліматичних умовах або при високій температурі може бути необхідно вживати заходи для утримання вологи протягом процесу тверднення.

**Використання добавок.** Добавки до цементобетону, такі як ретардери або пластифікатори, можуть впливати на швидкість висихання та втрату вологи.

Важливо враховувати ці чинники при проектуванні та виконанні будівельних робіт для забезпечення оптимальних умов для твердіння цементобетону та уникнення надмірної втрати вологи.

Для зменшення випаровування при температурі твердіння бетону вище 25 - 30 °С, можна застосувати кілька методів та матеріалів:

**1. Водозатримуючі покриття:** Використання водозатримуючих покриттів або мембран, які наносяться на поверхню цементобетону після укладання, може допомогти утримувати вологу всередині бетону, запобігаючи її випаровуванню.

**2. Заповнювачі, домішки та добавки:** Використання мікросиліки, летючої золи, або інших пуцоланових матеріалів може покращити щільність та зменшити пористість бетону, знижуючи таким чином випаровування.

**3. Вологозатримуючі добавки:** Добавки, що утримують воду (наприклад, суперпластифікатори), можуть збільшити легкоукладальність цементобетону без необхідності додавання додаткової води.

**4. Процеси укладання та догляду:** Підвищення обережності під час укладання та догляду за бетоном у спекотну погоду, включаючи використання затінюючих конструкцій, регулярне зволоження бетону, та уникнення укладання бетону у найспекотніші години дня.

**5. Ізоляційні матеріали:** Використання ізоляційних прошарків (геотекстилів) або плівок, які можуть зменшити швидкість випаровування води з бетону, забезпечуючи більш стале та контрольоване твердіння.

Ці методи та матеріали можуть бути використані окремо або в комбінації, залежно від конкретних умов будівельного проекту, для оптимізації процесу твердіння бетону при високих температурах.

**Мета роботи:** встановлення впливу основних факторів, що визначають випаровування вологи при твердінні цементобетону в дорожньому та аеродромному покритті та обґрунтування вимог та ефективності методів догляду за твердіючим цементобетоном.

**Виклад основного матеріалу дослідження і отриманих результатів.** Основними факторами, що прискорюють випаровування на поверхні свіжого бетону, є кліматичні, такі як низька відносна вологість, висока температура, висока швидкість вітру або сонячні промені. Випаровування відбувається, коли теплова енергія, подібна до сонячних променів, впливає на рідину або тиск на поверхні рідин менший, ніж тиск всередині рідини. Випаровування відбувається, коли активні молекули води віддаляються від рідини. Випаровування прискорюється, якщо є вітер, що забезпечує безперервний рух молекул води. З іншого боку, якщо температура поверхневих вод знижується, випаровування сповільнюється. Необхідно знати, яка градус температури води на поверхні, щоб встановити різницю тиску між водною поверхнею і повітрям. За температуру бетону приймається

температура води, що висихає [1]. Формула, яку Дальтон надав для основних ознак випаровування ще в 1802 році, показана за формулою (1).

$$E = (e_o - e_a) f(u). \quad (1)$$

У цьому рівнянні  $E = (e_o - e_a)$  і  $f(u)$  визначаються відповідно швидкістю випаровування, різницею тиску і функцією вітру (Dalton, 1802) [2]. У 1950–1952 рр. широкомасштабні дослідження проводилися навколо озера Хефнер. У результаті цих досліджень формула (2) була введена Келером.

$$E = (e_o - e_a)^{0,88} (0,37 + 0,0041u). \quad (2)$$

$E$  - швидкість випаровування;  $u$  - швидкість вітру; і  $(e_o - e_a)$ , різниця тисків визначається відповідно як см/доба, км/доба і см/рт.ст. (Kohler, 1955) [3]. Менцель отримав формулу (3) за допомогою формули Колера.

$$E = 0,44(e_o - e_a)(0,253 + 0,096v). \quad (3)$$

У цій формулі  $E$  визначається, як маса води, яка випаровується з поверхні 1 фут<sup>2</sup> за 1 год (фунт/фут<sup>2</sup>/год);  $e_o$  вказує на тиск пари на поверхні, при випаровуванні (psi);  $e_a$  визначається, як тиск пари від погоди (psi); а  $v$  - швидкість вітру, яка вимірюється на 50 см вище від поверхні випаровування, миля/год. Числа формули (3) визначені Менцелем в Portland Cement Association (PCA) в 1954 році (Menzel, 1954) [4]. Ця формула для випаровування, відома як рівняння Менцеля. Необхідно знати тиск пари, щоб визначити швидкість випаровування за цими формулами. У 1960 році Блум вказує на температуру, яка вимірюється в бетоні, і відносну вологість повітря як змінні, тому він знаходить рішення цієї проблеми. Це рішення знайшло своє місце в Національній асоціації готових бетонних сумішей (NRMCA) у вигляді монографії (Bloem, 1960) [3].

Уно надає формулу (4), використовуючи змінні температури бетону і повітря без підрахунку тиску пари, беручи до уваги рівняння Менцеля.

$$E = 5 \left( [T_c + 18]^{2,5} - r \cdot [T_a + 18]^{2,5} \right) (v + 4) 10^{-6}, \quad (4)$$

де  $E$  - швидкість випаровування, з кг/м<sup>2</sup>/год;  
 $T_c$  - температура бетону, °С;  $T_a$  - температура повітря,  
 °С;  $r$  - коефіцієнт відносної вологості повітря, %;  
 $v$  - швидкість вітру, км/год наведені в цій формулі [1, 6].

Швидкості випаровування, розраховані за цими формулами, дають різні значення в порівнянні з результатами експерименту.

Як випливає з формул, чинниками навколишнього середовища, які відіграють роль у випаровуванні, є температура повітря, відносна вологість, швидкість вітру і температура поверхні води (бетону).

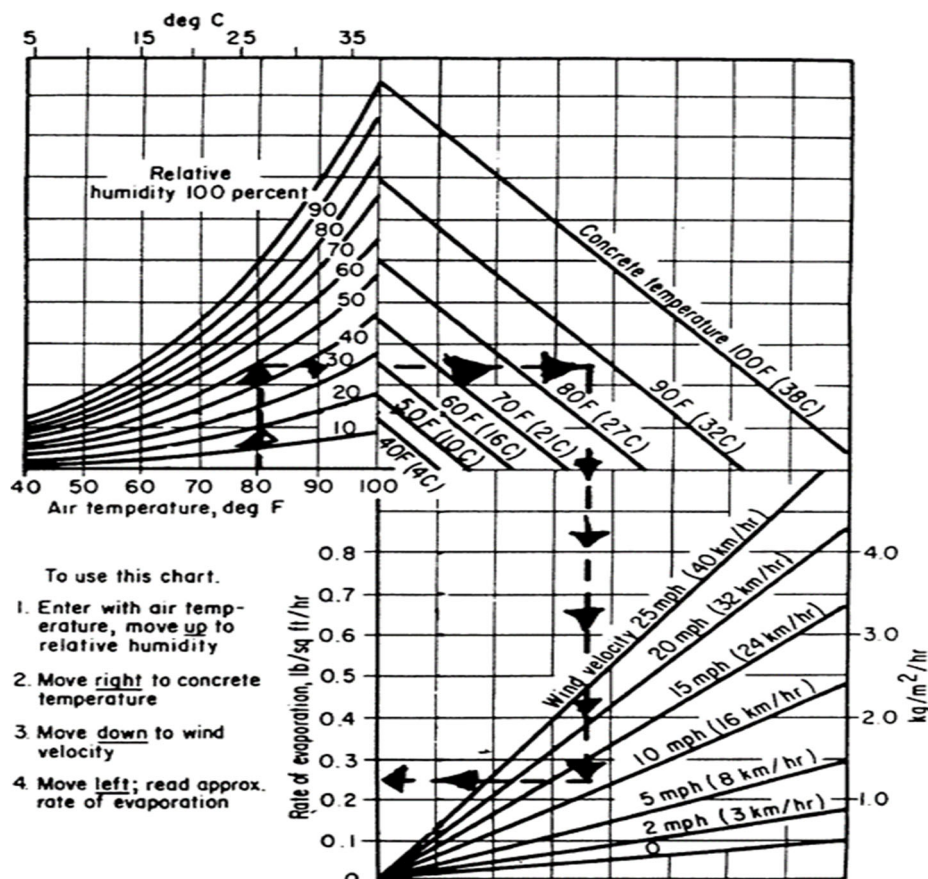


Рисунок 1 – Номограма визначення кількості води, що випаровується з бетону згідно АСІ 308.[4] (за даними Американського інституту бетону)

Figure 1 – Nomogram for determining the amount of water evaporated from concrete according to ACI 308.[4] (according to the American Concrete Institute)

### Передбачення ймовірного висихання при твердінні цементобетону дорожнього покриття.

Важливо вміти передбачати ймовірні умови висихання відразу після улаштування дорожнього покриття, щоб визначити, чи може бути втрачена вода, що перевищує кількість води, яка використана при приготуванні суміші, що робить бетон вразливим до утворення температурно усадочних тріщин.

Номограма АСІ 308 отримана в результаті обробки експериментальних результатів, за допомогою якої можливо визначити кількість випареної з бетону води в залежності від вищезазначених чинників.

На рис. 1 наведена номограма побудована за формулою, наведеною в роботі [4]. Ця формула запрограмована в електронну таблицю EXCEL для спрощення розрахунку.

$$ER = 4,88 \left[ 0,1113 + 0,04224 \frac{WS}{0,447} \right] (0,0443) (e^{0,0302(CT \cdot 1,8) + 32}) - \left[ (RH/100) (e^{0,0302(AT \cdot 1,8) + 32}) \right] \quad (5)$$

де,  $ER$  – швидкість випаровування (кг/м<sup>2</sup>/год);

$WS$  – швидкість вітру (м/с);

$CT$  – температура бетону (°C);

$AT$  – температура повітря (°C);

$RH$  – відносна вологість повітря (%).

Якщо в жаркий період року відбувається передчасне висихання бетону, мають місце усадочні деформації, що супроводжуються утворенням в бетоні тріщин, підвищенням проникності по відношенню до газів та води.

У реальних умовах бетонування на швидкість випаровування води з поверхні цементобетону впливає його власна температура, вологість і температура повітря, швидкість повітряних потоків (вітер).

Наскільки серйозною є проблема передчасного висихання бетону, демонструє наступний приклад: 1 м<sup>3</sup> свіжевиготовленої бетонної суміші містить 180 л води, тобто в шарі товщиною 1 см на площі 1 м<sup>2</sup> міститься 18 л води. Кількість випареної води в певних умовах за даними номограми складає 0,6 л/м<sup>2</sup> г. Це означає, що протягом 3 год випаровується така кількість води, яка міститься в шарі бетону товщиною 1 см. Саме в такому шарі фіксується утворення усадочних тріщин.

Нерідко при високих температурах навколишнього середовища доцільно використовувати в бетонах шлакопортландцементи з високим вмістом шлаку.

Наступна формула дає метод оцінки втрат від випаровування з вологої поверхні на основі методу прогнозування швидкості випаровування зі свіжої відкритої бетонної поверхні. Це оцінка виконується на основі врахування відносної вологості, температури матеріалу, температури повітря та швидкості вітру.

$$E_v = (0,055 + 0,014 V) [(0,617 + 0,063P)^2 - 0,9 \times e^{-6,03 + 1,33 \ln(H) + T \times 0,114 H - 0,14}]; \quad (6)$$

де  $E_v$  - швидкість випаровування в л/м<sup>2</sup>;

$H$  - відносна вологість навколишнього повітря у %;

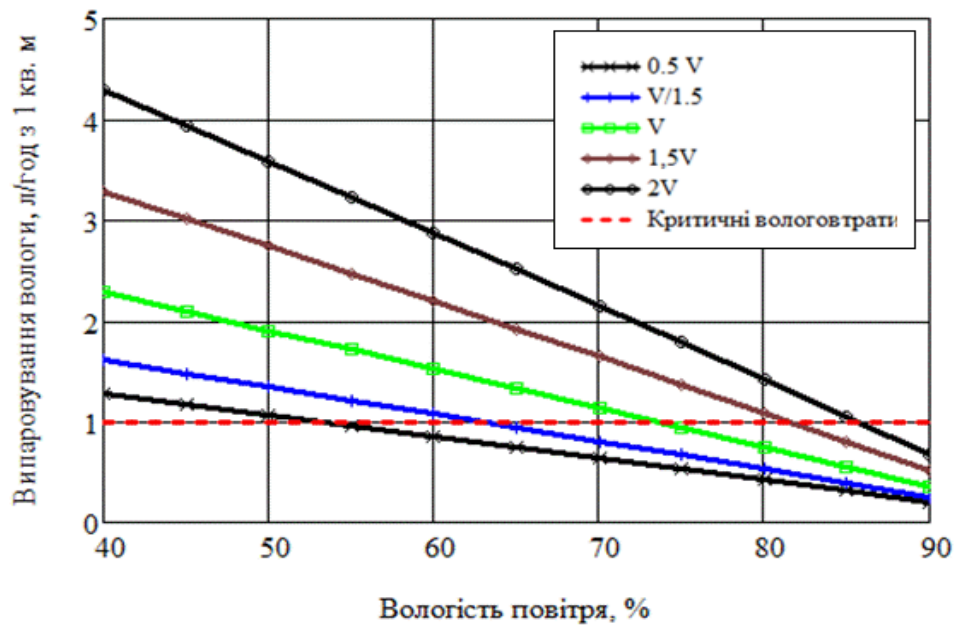
$T$  - температура навколишнього повітря в С°;

$P$  - температура поверхні покриття в С°;

$V$  - швидкість вітру в км/год;

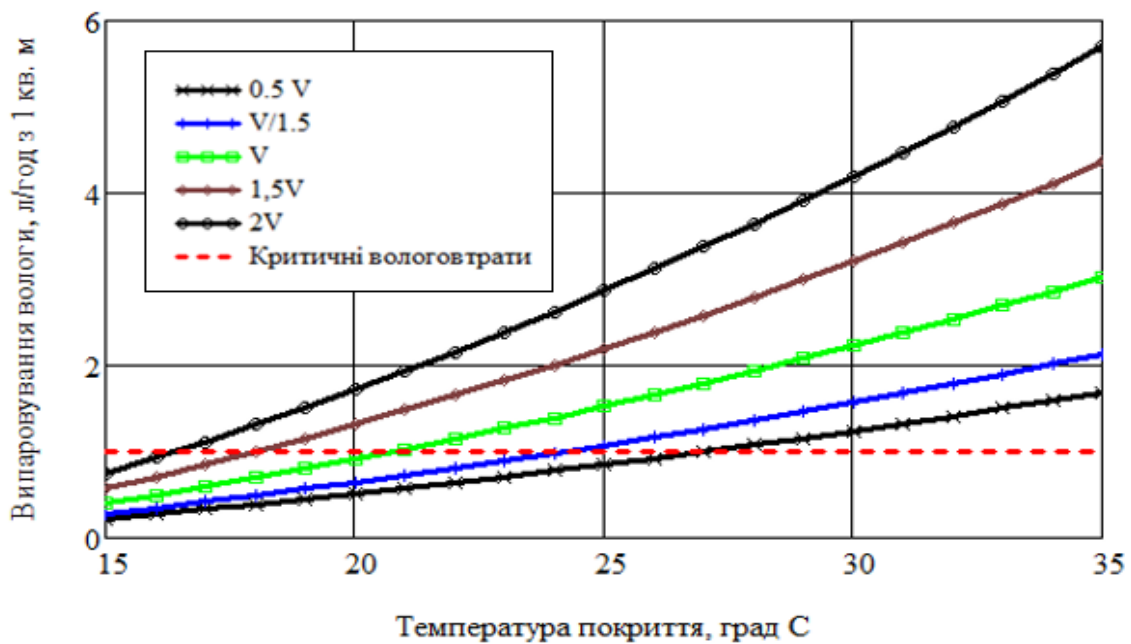
$e = 2,7183$ .

Наприклад, при температурі повітря 35°C, температурі покриття 35°C і швидкості вітру 30 км/год втрати на випаровування 10 л/м<sup>2</sup> відбудуться за 3-4 години (рис. 2 – 3). Для шару покриття товщиною 150 мм з ОМЦ 12% така втрата зменшить вміст води на 2% (або 17% ОМЦ). Цей розрахунок ігнорує інші втрати, наприклад, проникнення води в нижній шар покриття або підлоги.



**Рисунок 2** – Залежність втрати на випаровування вологи з 1 кв. м бетонної поверхні від вологості повітря при зміні швидкості вітру від 0,5 V до 2 V

**Figure 2** – Dependence of loss on evaporation of moisture from 1 sq. m of the concrete surface from air humidity when the wind speed change from 0.5 V to 2 V



**Рисунок 3** – Залежність втрати на випаровування вологи з 1 кв. м бетонної поверхні від температури покриття при зміні швидкості вітру від 0,5 V до 2 V

**Figure 3** – Dependence of loss on evaporation of moisture from 1 sq. m of concrete surface from the coating temperature when the wind speed changes from 0.5 V to 2 V

**Вимоги до матеріалів.** При будівництві цементобетонних покриттів найбільше поширення мають водозатримувальні покриття у вигляді емульсії та рідкі плівкоутворювальні суміші, які використовуються на бетонних поверхнях для зменшення втрат води протягом раннього періоду затвердіння. Білі пігментаційні сполуки, що утворюють плівку, служать для зменшення підвищення температури в бетоні, що піддається впливу сонячних променів. Плівкоутворювальні склади, підходять для використання в якості утримуючого агента для свіжого бетону, а також можуть використовуватися для подальшого утримання бетону після розпалубки або після вологого початкового затвердіння.

Плівкоутворювальні речовини – це рідкі речовини, що розподіляються по поверхні свіжоукладеного та ущільненого цементобетону для створення водонепроникної паропроникної плівки для забезпечення сприятливих умов твердіння цементобетону за рахунок зменшення випаровування вологи з його поверхні. Розрізняють плівкоутворювальні матеріали на основі: дисперсії парафінових восків, водної дисперсії акрилатів та на основі органічних розчинників.

У табл. 1 наведено технічні дані (типові значення) типових плівкоутворювальних матеріалів, що використовуються при догляді за цементобетонними покриттями в дорожньому будівництві.

**Таблиця 1** – Технічні дані (типові значення) плівкоутворюючих матеріалів для догляду за бетоном

**Table 1** – Technical data (typical values) of film-forming materials for concrete care

№	Властивості	Од. виміру	Вимоги			
			4	5	6	7
	Матеріал		Sika® NB 1	Sika® Antisol 101 NB	Mapecure E	Emcoril Protect H
1	Однорідність	-	рідина	рідина	рідина	рідина
2	Колір	-	білий	білий	білий	білий
3	Густина при 20 °С	г/см <sup>3</sup>	від 0,990 до 1,000	від 0,980 до 1,000	0,93 ± 0,03 при +20°С	близько 1
4	Значення рН	-	від 4,0 до 6,0	від 7,7 до 9,7	> 9	близько 8,5
5	Умовна кількість сухої речовини	% (м/м)	від 6,5 до 8,5	від 9,8 до 11,8	> 50	-
6	В'язкість	с	від 11,0 до 13,0	від 9,0 до 11,0	< 70 (+23°С) по Брукфілду	13
7.	Температура використання	°С.	основи вище +1	основи вище +1	від +5°С до +30°С	від +5°С до +30°С
8.	Витрати	г/м <sup>2</sup>	від 100 до 300	від 100 до 300	150 – 200	150 – 200
9.	Час висихання	год.	≤ 4	≤ 4	2 - 3	≤ 4,5
		-	парафінова емульсія	парафінова емульсія	водна емульсія спеціальних смол	полімерна дисперсія на водній основі
10.	Основна дія:	-	засіб для догляду за бетоном	кондиціонер для бетону	захист поверхні бетону від швидкого випаровування вологи	

При догляді за цементобетонними покриттями автомобільних доріг та аеродромів застосовується також плівкові та листові матеріали для запобігання втрати вологи, зменшення підвищення температури бетону, що піддається впливу сонячного випромінювання. Поширення набули такі види: водонепроникний папір (звичайний та білий), поліетиленова плівка (прозора та біла непрозора), мішковина з поліетилену білого кольору, геотекстильні матеріали, які відповідають вимогам AASHTO: M 171-87 [5].

Листові матеріали - спеціальні покриття, які використовуються для захисту свіжоукладеного цементобетону від негативного впливу зовнішнього середовища, що може вплинути на процес його твердіння. Вони допомагають забезпечити оптимальні умови для гідратації цементу, запобігаючи втраті вологи, надмірному висиханню, перепадам температур та забрудненням.

Вимоги до фізичних характеристик листових матеріалів зведені в таблицю 2. Для окремих видів визначені такі додаткові вимоги:

Водонепроникний папір повинен складатися з двох аркушів крафт-паперу, скріплених між собою бітумним матеріалом, в які вплетені мотузки або нитки волокна в обох напрямках на відстані не більше 1,25 дюйма (32 мм) один від одного. Папір повинен бути світлого кольору, не мати видимих дефектів і повинен мати такий же зовнішній вигляд. Білий папір повинна мати білу поверхню хоча б з одного боку.

Поліетиленова плівка повинна складатися з одного листа з чистого полімеру без подряпин і нашарувань, за винятком білих барвників, якщо сама плівка непрозора. Вона повинна бути без видимих дефектів і мати однаковий зовнішній вигляд. Плівка прозорого типу повинна бути досить прозорою.

Біла поліетиленова мішковина повинна складатися з мішковини вагою не менше 10 унцій/погонний ярд, шириною 40 дюймів (305 г/м<sup>2</sup>), просоченої, з одного боку, білим непрозорим поліетиленом товщиною 0,004 дюйма (0,01 мм), як визначено в табл. 2.

**Таблиця 2 – Вимоги до фізичних властивостей листових матеріалів для догляду за бетоном**  
**Table 2 – Requirements for the physical properties of sheet materials for concrete care**

Тип матеріалу листа	Номінальна товщина мм	Втрати вологи, не більше, г/см <sup>2</sup>	Міцність на розрив, не менше				Відносне подовження, min %		Відбивна здатність, min %
			кН/м ширини		МПа		Поздовжній напрям	Поперечний напрям	
			Напрямок руху машини	Напрямок перетину	Поздовжній напрям	Поперечний напрям			
<b>Водонепроникний папір</b>									
Звичайно	-	0,055	5,25	2,62	-	-	-	-	-
Білий	-	0,055	5,25	2,62	-	-	-	-	50 <sup>A</sup>
<b>Поліетиленова плівка</b>									
Прозорі	0,10 <sup>B</sup>	0,055	-	-	11,7	8,3	225	350	-
Білий	0,10 <sup>B</sup>	0,055	-	-	11,7	8,3	225	350	70
<b>Мішковина з поліетилену білого кольору</b>									
	C	0,055	-	-	C	C	C	C	70 <sup>D</sup>

<sup>A</sup> Вимірюється по білій стороні. <sup>B</sup> Товщина в будь-якій точці не повинна бути менше 0,075 мм.

<sup>C</sup> Дивись параграф 5.1.3 - Фізичні вимоги до мішковини та поліетилену. <sup>D</sup> Вимірюється на поліетиленовій стороні листового матеріалу.

### Висновки

Догляд за твердіючим цементобетоном важливий завершальний етап в технології влаштування шарів від якого залежить якість та довговічність дорожнього та аеродромного покритву. Встановлено вплив погодно-кліматичних чинників на випаровування вологи із бетону.

Надано вимоги для плівкоутворювальних та листових матеріалів для догляду за твердіючим цементобетоном. Як матеріали для догляду за твердіючим цементобетонним покритвом можуть застосовуватись плівкоутворювальні паропроникні матеріали на основі водної дисперсії парафінів, на основі водної дисперсії акрилатів або на основі органічних розчинників, а також листові матеріали.

Плівкоутворювальні паропроникні матеріали для догляду за твердіючим цементобетоном повинні відповідати таким вимогам:

- створювати суцільну плівку, що має достатню вологоутримувальну здатність і зчеплення з цементобетоном впродовж не менше 7 діб;
- обмежувати втрату вологи з поверхні покритву не більше ніж 0,55 кг/м<sup>2</sup> за 72 години згідно ASTM C156;
- коефіцієнт ефективності водоутримування має складати не менше 70% за 72 години згідно ДСТУ CEN/TS 14754-1:2022;
- період формування плівки за температури повітря плюс 20 °C не повинен перевищувати 1 год;
- плівка повинна мати колір світлих тонів.

Виконано порівняння найбільш поширених плівкоутворювальних речовин, що використовуються в технології цементобетону на сьогодні в Україні.

Доцільно в подальшому впровадженню норм AASHTO: M 148 – 91 (ASTM: C 309 – 03), AASHTO: M 171-87 та ASTM C 156 – 03 в практику будівництва дорожніх та аеродромних покриттів.

### Перелік посилань

1. Uno P.J. Plastic shrinkage and evaporation formulas. ACI Mater J 95. 1998. P.P. 365–375.
2. Topçu İ.B. Raising of water and evaporation from freshly placed concrete surface. ICCE 12, twelve international conferences on composites or nano engineering, Tenerife. 2005.
3. Topçu İ.B., Elgün V.B. Influence of concrete properties on bleeding and evaporation. Cem Concr Res 34. 2004. 275–281
4. Berhane Z Evaporation of water from fresh mortar and concrete at different environmental conditions. ACI J Proc 81. 1984. P.P. 560–565.
5. Hasanain GS, Khalaf TA, Mahmood K Water evaporation from freshly placed concrete surfaces in hot weather. Cem Concr Res 19. 1989. P.P. 465–475.
6. Elgün V.B. Influence of concrete properties on bleeding and evaporation. M.Sc. Thesis, Osmangazi University, Science Institute, Eskişehir. 2003.
7. Öztekin E., Özkul M.H. The effect of concrete composition and environmental conditions on plastic shrinkage. In: Proceedings of the national concrete congress, İstanbul, vol 3. 1994. P.P. 163–74.

8. Saman T.A., Mirza W.H., Wafa F.F. Plastic shrinkage cracking of normal and high strength concrete: a comparative study. *ACI Mater J* 93. 1996. P.P. 36–40.
9. Almusallam AA, Maslehuddin M, Abdulwaris M, Dakhil FH, Al-Amoudi OSB. 1999.
10. Plastic shrinkage cracking of blended cement concretes in hot environments. *Mag Concr Res* 51: 1999. P.P. 241–246.
11. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво.
12. ДСТУ Б В.2.7-114-2002 Суміші бетонні. Методи випробувань.
13. ДСТУ-Н Б В.2.3-36:2016 Настанова з влаштування жорсткого дорожнього одягу.
14. AASHTO: M 148 – 91 (ASTM: C 309 – 03) Стандартна специфікація. Рідкі сполуки, що утворюють плівку для догляду за бетоном при твердінні.
15. AASHTO: M 171-87 Стандартна специфікація. Листові матеріали для затвердіння бетону. Позначення AASHTO: M 171-87.
16. ASTM C 156 – 03. Стандартний метод випробування для утримання води матеріалами для твердіння бетону.

#### **FEATURES OF CURING FOR HARDENED ROAD CONCRETE WHEN INSTALLING A MONOLITHIC CEMENT CONCRETE ROAD SURFACE. Part 1. Theoretical studies and materials used in curing.**

**Gameliak Igor P.**, Doctor of Engineering Sciences, professor, Head of department «System design of transport infrastructure objects and geodesy», National Transport University, e-mail: [gip65@gmail.com](mailto:gip65@gmail.com), +380503524124, <http://orcid.org/0000-0001-9246-7561>

**Dmytrychenko Andij M.**, Candidate of Engineering Sciences, associate professor of department transport law and logistic, National Transport University, e-mail: [andrew\\_d@ukr.net](mailto:andrew_d@ukr.net), +380502816006, <http://orcid.org/0000-0001-6144-7533>

**Yashchenko Yehor S.**, graduate student of department System design of transport infrastructure objects and geodesy, National Transport University, head of technical department Mapei Ukraine Llc, e-mail: [e.yaschenko@mapei.com](mailto:e.yaschenko@mapei.com), +380503527237

**Annotation.** Concrete hardening conditions are the main factors affecting the achievement of operational concrete structures properties. Optimal conditions provide conditions for the cement clinker hydration, rate determine of strength gain, reduce the probability of formation shrinkage cracks, and retain a sufficient amount of moisture in the concrete body to increase cracking resistance. In practice, on many construction sites, the ratio of maintenance to concrete hardening is negative. There is no temperature and humidity regime for concrete hardening. Cement clinker hydration can only occur in wet conditions and if there is water in the capillaries of cement stone, it is necessary to create high humidity for concrete hardening to prevent moisture loss due to evaporation. The optimal heat-moist concrete hardening mode helps to reduce the porosity of hydrated cement stone, reduces the pores size and their shape, and increases of concrete microstructure density.

**Keywords:** cement concrete, road pavement, curing, hardening, hydration, temperature-humidity regime.

#### **References**

1. Uno P.J. Plastic shrinkage and evaporation formulas. *ACI Mater J* 95. 1998. P.P. 365–375.
2. Topçu İ.B. Raising of water and evaporation from freshly placed concrete surface. ICCE 12, twelve international conferences on composites or nano engineering, Tenerife. 2005.

3. Topçu İ.B., Elgün V.B. Influence of concrete properties on bleeding and evaporation. *Cem Concr Res* 34. 2004. 275–281
4. Berhane Z Evaporation of water from fresh mortar and concrete at different environmental conditions. *ACI J Proc* 81. 1984. P.P. 560–565.
5. Hasanain GS, Khalaf TA, Mahmood K Water evaporation from freshly placed concrete surfaces in hot weather. *Cem Concr Res* 19. 1989. P.P. 465–475.
6. Elgün V.B. Influence of concrete properties on bleeding and evaporation. M.Sc. Thesis, Osmangazi University, Science Institute, Eskişehir. 2003.
7. Öztekin E., Özkul M.H. The effect of concrete composition and environmental conditions on plastic shrinkage. In: *Proceedings of the national concrete congress, İstanbul, vol 3.* 1994. P.P. 163–74.
8. Saman T.A., Mirza W.H., Wafa F.F. Plastic shrinkage cracking of normal and high strength concrete: a comparative study. *ACI Mater J* 93. 1996. P.P. 36–40.
9. Almusallam AA, Maslehuddin M, Abdulwaris M, Dakhil FH, Al-Amoudi OSB. 1999.
10. Plastic shrinkage cracking of blended cement concretes in hot environments. *Mag Concr Res* 51: 1999. P.P. 241–246.
11. DBN V.2.3-4:2015 Avtomobilni dorohy. Chastyna I. Proektuvannia. Chastyna II. Budivnytstvo.
12. DSTU B V.2.7-114-2002 Sumishi betonni. Metody vyprobuvan.
13. DSTU-N B V.2.3-36:2016 Nastanova z vlashtuvannia zhorstkoho dorozhnoho odiahu.
14. AASHTO: M 148 – 91 (ASTM: C 309 – 03) Standartna spetsyfikatsiia. Ridki spoluky, shcho utvoriuiut plivku dlia dohliadu za betonom pry tverdinni.
15. AASHTO: M 171-87 Standartna spetsyfikatsiia. Lystovi materialy dlia zatverdinnia betonu. Poznachennia AASHTO: M 171-87.
16. ASTM C 156 – 03. Standartnyi metod vyprobuvannia dlia utrymannia vody materialamy dlia tverdinnia betonu.