

**ОСОБЛИВОСТІ ДОГЛЯДУ ЗА ТВЕРДЮЧИМ ДОРОЖНІМ БЕТОНОМ ПРИ
ВЛАШТУВАННІ МОНОЛІТНОГО ЦЕМЕНТОБЕТОННОГО ДОРОЖНЬОГО ПОКРИВУ
ЧАСТИНА 2. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА
МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ.**

**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, +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, +380502816006,

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



Ященко 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, +380503527237

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

Анотація. Досягнення достатньої міцності бетону під час висихання (втрати вологи) є важливим для продовження бетонних та інших будівельних робіт. Рання оцінка міцності цементобетону скорочує час простою під час очікування зміцнення. Температура та вологість є важливими факторами, що впливають на час твердіння. Розробка детальної методології розрахунку комплексної зрілості з урахуванням зовнішніх і внутрішніх параметрів, таких як внутрішня температура та температура навколишнього середовища та відносна вологість навколишнього

середовища, яка б зважила співвідношення впливу кожного параметра та найбільш точно передала взаємозв'язок набраної міцності зі зрілістю бетону протягом часу твердіння.

Ключові слова: цементобетон, міцність бетону, догляд за бетоном, випаровування, експериментальні дослідження.

Вступ. Пластичність усадочної тріщини збільшується на свіжоприготовленому бетоні, поміщеному в жаркі і вітряні умови. Тріщини негативно впливають на довговічність цементобетону. Цей тип розтріскування в основному спостерігається на плитах, покриттях, балках та інших плоских бетонних поверхнях. На випаровування впливає велика кількість чинників, які є основним джерелом появи тріщин. Випаровування є функцією кліматичних змінних, таких як відносна вологість, температура та швидкість вітру. Основними чинниками, що прискорюють випаровування на поверхні свіжого бетону, є кліматичні, такі як низька відносна вологість, висока температура, висока швидкість вітру або сонячна радіація. 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.

Закордоном питанням догляду за твердіючим бетоном приділяється значна увага [1-20].

Виклад основного матеріалу дослідження і отриманих результатів. Цемент твердне при контакті з водою, і цей процес є результатом кристалізації. Після певного часу, що називається початковим схоплюванням, починають утворюватися кристали, які поступово з'єднуються між собою. На початковому етапі бетон залишається повністю текучим, а після схоплювання починає поступово тверднути.

Міцність бетону значною мірою залежить від співвідношення цементу та води. Крім того, процес твердіння бетону залежить від температури: за нижчих температур цей процес сповільнюється.

Твердіння бетону, процес кристалізації, супроводжується виділенням тепла. У певних умовах це може бути проблемою, в інших – навпаки, перевагою.

Правильні умови тверднення бетону мають вирішальне значення для забезпечення його міцності, довговічності та естетичної якості. Дотримання оптимальних умов під час твердіння дозволяє досягти наступних результатів:

1. **Зменшення випаровування вологи:** Після укладання бетонної суміші важливо запобігти надмірному випаровуванню води, адже вода є необхідною для процесу гідратації цементу. Якщо випаровування відбувається занадто швидко, це може призвести до неповного схоплювання і втрати міцності. Використання вологого покриття або плівок допомагає зберігати вологу на поверхні бетону.

2. **Зменшення втрат тепла та запобігання замерзанню:** У холодних умовах бетон потребує захисту від втрат тепла, оскільки замерзання води в бетоні до того, як він затвердіє, може пошкодити його структуру. Для цього використовують утеплюючі матеріали, які допомагають утримувати тепло, що виділяється в процесі твердіння, і знижують ризик замерзання.

3. **Запобігання утворенню тріщин від усадки:** Неправильні умови твердіння можуть спричинити утворення тріщин через усадку, особливо на поверхні цементобетону. Це відбувається

через нерівномірне висихання і скорочення матеріалу. Контроль вологості та температури дозволяє уникнути передчасного висихання та мінімізує ризик тріщиноутворення.

4. **Швидкий набір міцності:** Підтримання правильних умов дозволяє цементобетону швидко набирати початкову міцність, що є важливим для конструкцій, які мають витримувати навантаження. Контрольоване твердіння забезпечує рівномірний розвиток міцності на усіх етапах.

5. **Міцна та довговічна бетонна конструкція:** Правильний догляд під час твердіння гарантує, що кінцевий продукт матиме максимальну міцність і стійкість до зовнішніх впливів (рис. 1), включаючи механічні навантаження, погодні умови та хімічні речовини. Це підвищує довговічність конструкції та зменшує ризик пошкоджень у майбутньому.

6. **Зберігання тепла від свіжого бетону та тепла, що виділяється під час твердіння:** Свіжий бетон виділяє тепло під час процесу гідратації, і важливо зберегти це тепло для забезпечення стабільного твердіння. Особливо це актуально в холодну пору року, коли існує ризик занадто швидкого охолодження цементобетону.

7. **Стійка та візуально приваблива поверхня:** Відповідний догляд під час твердіння сприяє формуванню рівної та однорідної поверхні цементобетону, без видимих дефектів, таких як тріщини чи плями. Це покращує зовнішній вигляд конструкції, що є важливим для архітектурних елементів.

8. **Попередження відлущування верхнього шару бетону:** Відлущування або відшарування верхнього шару бетону може статися через недостатній або неправильний догляд за ним під час твердіння. Захист цементобетону від передчасного висихання, різких перепадів температури та механічного впливу на початкових етапах твердіння допомагає запобігти цьому дефекту. Особливо важливо зберігати належну вологість поверхні бетону, щоб уникнути її передчасного висихання (рис. 1).

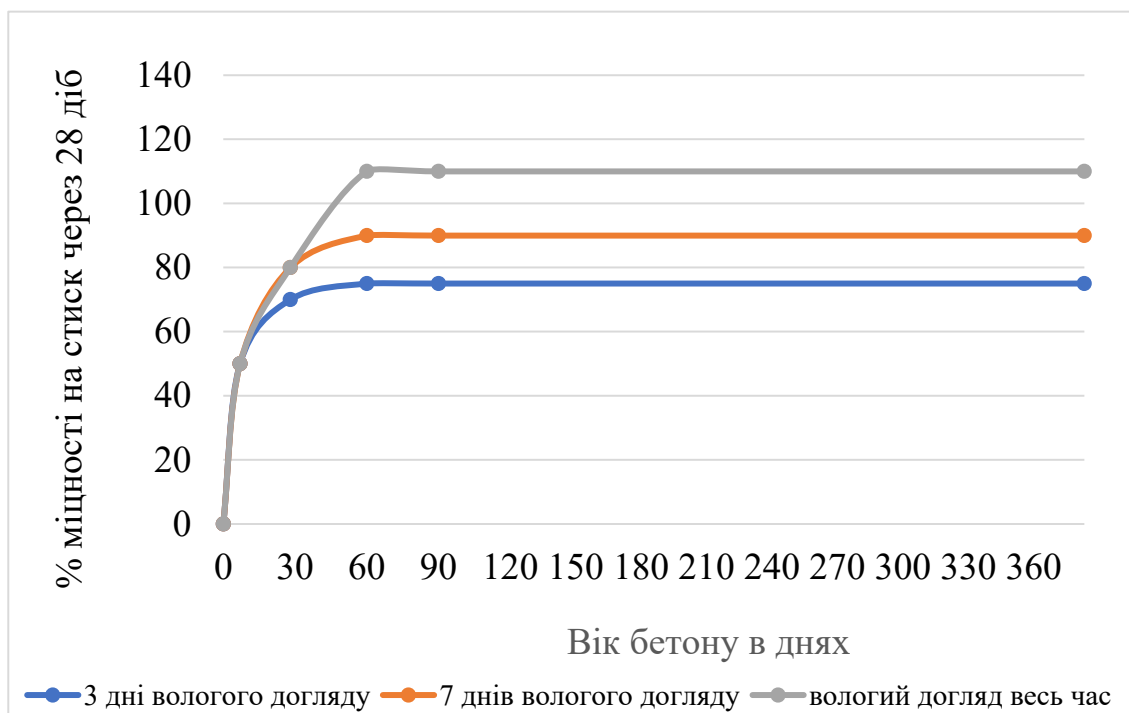


Рисунок 1 – Залежність міцності бетону від терміну догляду.

Figure 1 – Dependence of concrete strength on the maintenance period

Твердіння повинно починатися відразу після заливки: Щоб запобігти надмірному випаровуванню води та забезпечити правильний процес кристалізації, догляд за бетоном потрібно розпочинати одразу після його заливки. Це дозволяє захистити поверхню цементобетону від несприятливих зовнішніх умов і забезпечити його рівномірне затвердіння.

Дотримання цих умов під час твердіння цементобетону дозволяє досягти максимальної якості і довговічності конструкцій, що є важливим для успіху будь-якого будівельного проекту.

Основні методи догляду розділяють на такі, що передбачають зволоження цементобетону і на такі, що запобігають випаровуванню води з його поверхні.

До найбільш поширених методів зволоження відносяться полив та покрив водонасиченими вологоємними матеріалами. Для поливу твердіючого цементобетону зручно застосовувати різні типи насадок. Недоліками цього способу є підвищена витрата води і необхідність постійного спостереження за тим, щоб поверхня цементобетону не залишалася сухою. Інакше, у разі періодичного висихання і зволоження, якість цементобетону погіршується. При покриванні цементобетону вологоємними матеріалами їх періодично потрібно зволожувати. Цей спосіб може використовуватись не тільки для горизонтальних, але і для похилих поверхонь.

Друга група методів передбачає укриття поверхні водонепроникними і водночас паропроникними матеріалами. Данна методика дозволяє запобігати випаровуванню вологи з цементобетону без додаткового зволоження. До таких матеріалів відносяться бітумізовані сорти паперу (звичайно найбільш дешеві, наприклад, пергамін), плівки з полімерних матеріалів, а також різного роду рідкі плівкоутворювальні матеріали.

Типи догляду за бетоном в літній період наведено в табл. 1.

Догляд за твердіючим бетоном поділяють на початковий етап та основний (проміжний та фінішний) етапи. На першому етапі догляду слід застосовувати тільки плівкоутворювальні матеріали. При цьому обов'язковою умовою є збереження однорідності та суцільності плівки протягом не менше 7 діб. На другому етапі (після схоплювання цементу) рекомендується продовжити догляд за допомогою укриття полімерною плівкою, укриття геотекстилем або подібними матеріалами, що добре вбирають і повільно випаровують воду, або здійснювати періодичний полив покриття. Догляд за твердіючим бетонним шаром продовжують до набирання проектної міцності, але не менше ніж 28 діб.

Таблиця 2 – Заходи догляду за цементобетоном

Table 2 – Care measures for cement concrete

Тип догляду	Початковий	Проміжний	Фінішний
Змочення водою*	-	-	√
Пластикові листи та текстиль	-	√	√
Плівкоутворювальні матеріали (наприклад, Мембрана Marесure®)	√	√	√

Примітка. *Виключно для В/Ц співвідношення > 0,4.

Таблиця 1 - Типи догляду за бетоном в літній період

Table 1 - Types of concrete care in the summer

	<p>Рідка плівкоутворювачі (мембрана): Це спеціальне хімічне покриття, яке наносять на поверхню свіжого бетону. Мембрана створює захисний шар, що запобігає випаровуванню води з поверхні бетону. Це особливо важливо для забезпечення повного процесу гідrataції цементу, який потребує достатньої кількості вологи. Рідкі мембрани бувають різних типів – на водній, полімерній або на основі органічних розчинників. Вони забезпечують рівномірне твердіння бетону, мінімізують ризик утворення тріщин і сприяють формуванню міцної поверхні.</p>
	<p>Листові матеріали: Полімерні плівки, геотекстилі або мішковину використовуються для того, щоб запобігти випаровуванню вологи з бетону. Після нанесення або укладання поверх бетону, таке покриття створює герметичну перешкоду, яка зберігає вологу всередині конструкції. Це один з найпростіших і ефективних способів догляду за бетоном, особливо на невеликих площах або при роботах у спекотну погоду. Проте важливо стежити, щоб плівка не мала розривів і не лежала занадто щільно на поверхні, аби уникнути появи нерівностей.</p>
	<p>Вода: Постійне зволоження бетону водою є одним із найтрадиційніших методів догляду. Регулярне поливання або утримання водяного шару на поверхні забезпечує підтримку належної вологості для гідrataції цементу. Метод часто застосовується на великих площах або в теплих кліматичних умовах, де існує підвищена ймовірність швидкого випаровування води. Для ефективності процесу важливо забезпечити постійне зволоження поверхні протягом усього початкового етапу твердіння.</p>
	<p>Вода і геотекстиль: Це поєднання застосовується для покращеного зберігання вологи в бетоні. Геотекстиль укладається на поверхню бетону і регулярно зволожується водою. Текстиль добре утримує воду, запобігаючи її швидкому випаровуванню, і рівномірно розподіляє вологу по поверхні. Це дозволяє забезпечити стабільні умови для твердіння бетону, особливо на великих площах чи при високих температурах. Крім того, цей метод дозволяє ефективно доглядати за складними формами або поверхнями.</p>

Вплив вологості на випаровування з поверхні цементобетону

Надмірна кількість: Надлишок води, або додавання води на поверхню, призводить до зниження міцності поверхні бетону, утворення пилу на поверхні та підвищення ризику утворення тріщин через усадку.

Правильна кількість: Утримання вологи за допомогою належних заходів догляду (виходячи з початкового водоцементного відношення) забезпечує розвиток міцної та довговічної поверхні.

Надто мала кількість: Пересихання поверхні бетону на ранніх етапах спричиняє утворення тріщин через високу пластичну усадку. Неefективна кристалізація також призводить до слабкої, не міцної поверхні, що пилить (рис. 2).

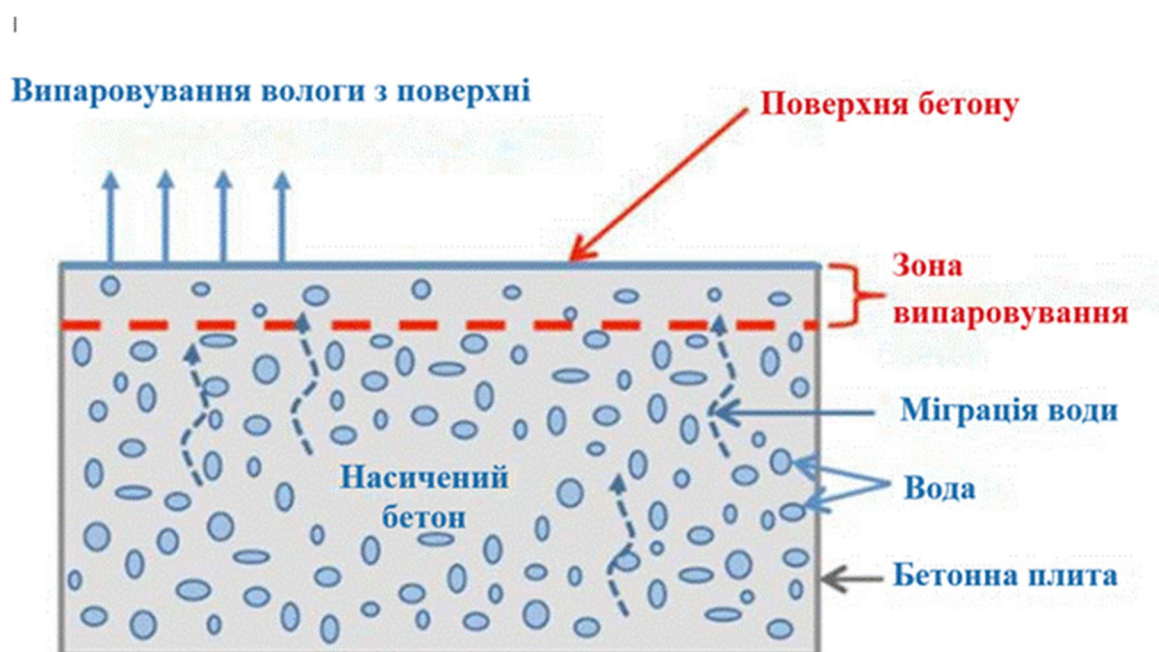


Рисунок 2 – Процес випаровування вологи з бетонної плити
Figure 2 – The process of evaporation of moisture from a concrete slab

Плівкоутворювальні матеріали найбільш технологічні та ефективні в порівнянні з іншими видами покриттів, особливо для великих поверхонь цементобетону, що укладається. В умовах дії високих температур під час літнього періоду, рекомендується застосовувати плівкоутворювальні матеріали з білим пігментом або алюмінієвою пудрою. У табл. 2 та на рис. 3 наведено результати лабораторних випробувань впливу плівкоутворюючих рідких мембран Марей на зменшення випаровування води із бетону.

Як слідує із табл. 2 та рис. 3 використання плівкоутворювальних матеріалів дозволяє зменшити витрати вологи із 13,8 % до 4 ... 6 % від загальної кількості води на замішування суміші. При цьому зміна випаровування відбувається за логарифмічною залежністю.

Таблиця 2 – Порівняння впливу плівкоутворюючих матеріалів на зменшення випаровування води

Table 2 – Comparison of the effect of film-forming materials on the reduction of water evaporation

Показники	Од. вим.	Без догляду	Марекур AF (0,4 кг/м ²)	Марекур WF-75 (0,3 кг/м ²)	Марекур E (0,1 кг/м ²)	Марекур E (0,3 кг/м ²)	Марекур WG (0,2 кг/м ²)
СЕМ І 52,5R	[Г]	945	945	945	945	945	945
Стандартний пісок	[Г]	2520	2520	2520	2520	2520	2520
Вода	[Г]	378	378	378	378	378	378
Піщано-цементне відношення	П/Ц	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Консистенційний розчин UNI 7044	[%]	140	140	140	140	140	140
Геометрія зразка (1)	[мм]	194	194	194	194	194	194
Поверхня зразка (2)	[мм]	29544,26	29544,26	29544,26	29544,26	29544,26	29544,26
Вага опалубки	[Г]	79,60	79,5	80,2	79,90	80,30	72,5
Вага зразка з опалубкою (4)	[Г]	3767,7	3808,1	3773,9	3749,4	3848,0	3464,5
Час очікування (3)	[мм]	120	120	120	120	120	120
Вага зразка з опалубкою (5)	[Г]	3749,0	3785,8	3757,1	3733	3829,6	3448,1
Вага зразка з опалубкою та рідкою мембраною(6)	[Г]	3749,0	3796,1	3764,6	3736,5	3837,2	3454,6
Вага через 3 години	[Г]	3721,8	3787,2	3755,6	3730,0	3828,0	3439,1
Вага через 24 години	[Г]	3706,9	3780,4	3746,2	3723,9	3823,6	3436,4
Вага через 48 годин	[Г]	3702,2	3777,1	3743,1	3720,6	3821,5	3434,0
Вага через 72 години	[Г]	3699,2	3775,2	3740,1	3718,2	3819,8	3431,9
Сухий залишок рідкої мембрани (7)	[%]	0,0	12,5	36,6	23,4	23,4	30,7
Спосіб нанесення мембрани	///	//	щітка	щітка	щітка	щітка	щітка
Температура твердіння	///	35°C	35°C	35°C	35°C	35°C	35°C
Витрата рідкої мембрани	[кг/м ²]	0,000	0,349	0,254	0,118	0,257	0,220
Випаровування води з розчину	[%]	13,8	2,6	3,9	3,9	2,2	4,3
Випаровування води з розчину (72 години)	[кг/м ²]	1,686	0,315	0,482	0,473	0,272	0,481
Зменшення випаровування води	[%]	0	81	71	72	84	71

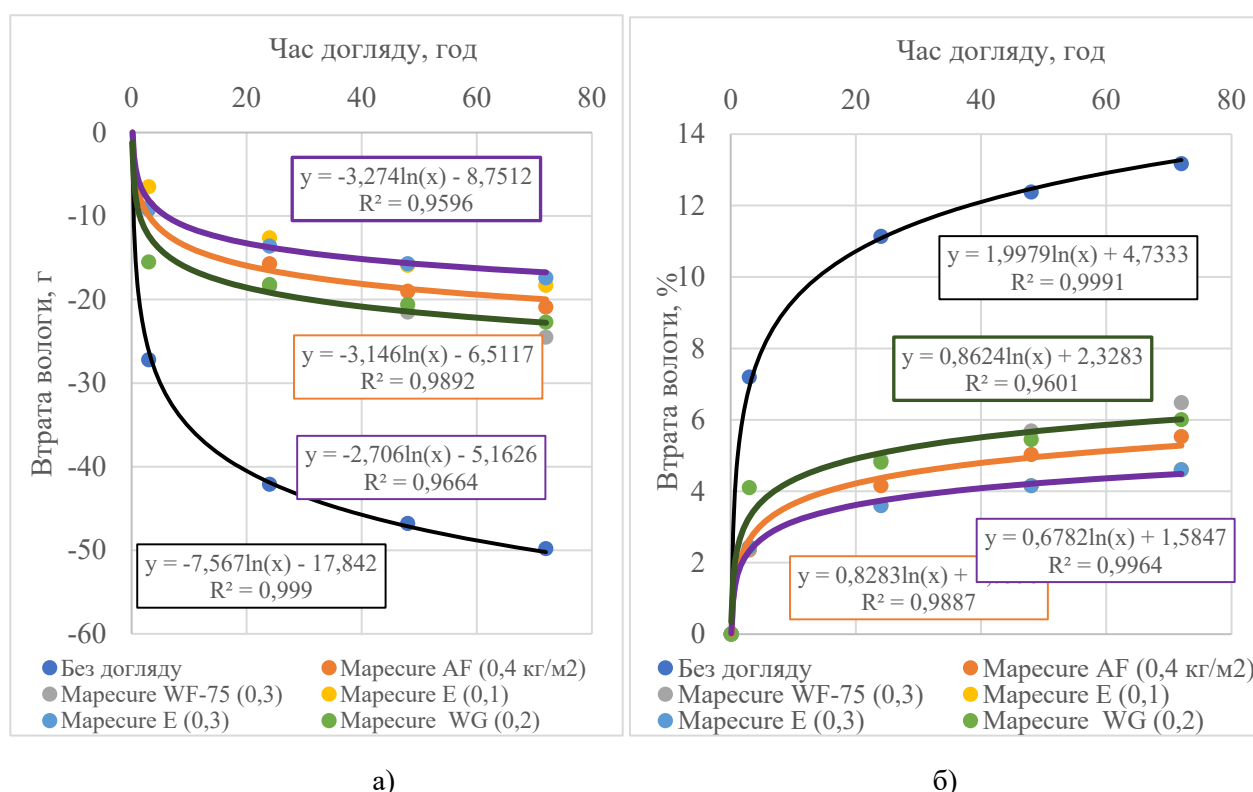


Рисунок 3 – Втрата вологи в процесі твердіння цементобетону без догляду та при використанні різних плівкоутворювальних матеріалів: а) у грамах; б) у відсотках
Figure 3 – Moisture loss during the hardening process of cement concrete without maintenance and when using various film-forming materials: a) in grams; b) in percent

1. Догляд за бетоном в зимовий період

Основні правила догляду в зимовий період:

1. Забезпечення температурного режиму для твердіння

При бетонуванні в холодну пору року критично важливо забезпечити оптимальні умови для твердіння бетону. Це включає контроль температури як самого бетону, так і навколишнього середовища. Для забезпечення належного твердіння температура повинна бути підтримана на рівні, що запобігає замерзанню бетонної суміші та забезпечує набір міцності. За недостатнього тепла реакції гідратації цементу сповільнюються, що може призвести до утворення слабкого та неякісного матеріалу.

2. Запобігання замерзанню до досягнення міцності

Замерзання бетону до того, як він досягне достатньої міцності, може спричинити серйозні пошкодження. Зазвичай, досягнення міцності не менше ніж 5 МПа є мінімальним показником, який забезпечує достатню стійкість бетону до впливу низьких температур (рис. 4). Замерзання води в незатверділому бетоні може призвести до розтріскування та втрати його механічних властивостей. Таким чином, важливо запобігти впливу негативних температур на ранніх етапах твердіння.

3. Склад бетонної суміші

– **Тип та об'єм цементу:** Тип цементу та його кількість у бетонній суміші відіграють важливу роль у процесі гідратації та тепловиділення. Швидкотверднучі цементы є кращими для зимового

бетонування, оскільки вони забезпечують швидший набір міцності. Також не менш важливим є водоцементне відношення, яке краще представляти у вигляді цементо-водного відношення. Залежність величини міцності від водоцементного відношення відома як «Walz-крива», що представлена (рис. 4).

– **Використання прискорювачів твердіння:** Прискорювачі твердіння можуть бути додані до бетонної суміші для прискорення процесу гідrataції цементу, що знижує ризик пошкодження від замерзання.

– **Уникнення сповільнювачів твердіння:** У зимовий період варто уникати застосування добавок, що сповільнюють процес твердіння, оскільки це може призвести до подовження періоду, коли бетон буде вразливим до замерзання.



Рисунок 4 – Залежність кінцевої міцності у % від міцності цементобетону перед замерзанням
Figure 4 – Dependence of compressive 28 days strength in % on concrete compressive strength before freezing

4. Початкова температура бетону

Підтримання оптимальної початкової температури бетонної суміші є важливим фактором для успішного твердіння взимку. Температура бетонної суміші при укладанні повинна бути вище нуля, щоб забезпечити належний запуск процесів гідrataції. Для цього може бути необхідне підігрівання компонентів суміші, таких як вода та заповнювачі.

5. Тип опалубки

Тип опалубки може впливати на збереження тепла всередині бетонної маси. Дерев'яні або пластикові форми можуть мати кращі теплоізоляційні властивості порівняно з металевими, що допомагає підтримувати температуру бетону на належному рівні.

6. Ізоляція

Ізоляційні матеріали (наприклад, мати, плівки, пінополіуретан) можуть бути використані для збереження тепла в бетоні під час твердіння. Це особливо важливо в перші години після укладання, коли бетон є найбільш вразливим до втрати тепла. Ізоляція допомагає зменшити тепловтрати і захистити бетон від зовнішніх впливів, таких як вітер і мороз.

7. Обігрів

У деяких випадках може виникнути необхідність в активному підігріванні бетонних конструкцій, особливо якщо температури суттєво нижчі за нуль. Для цього можуть використовуватися різні методи, такі як використання теплових гармат, електричного обігріву або інфрачервоних обігрівачів. Важливо забезпечити рівномірне нагрівання, щоб уникнути нерівномірного твердіння або пошкоджень.

Як зазначено вище, випаровування вологи та розвиток фізико-хімічних процесів при твердненні цементу значно залежить від температури навколишнього середовища. Для тверднення цементного бетону найбільш сприятливими є температури від 15°C до 17°C. ДСТУ Б В.2.7-176 передбачає виконання випробувань бетону на визначення міцності при температурі (20±2) °C.

В реальних умовах будь-якої кліматичної зони нашої країни температура повітря може досягати 40°C.

На рис. 6 наведено дані про вплив температури твердіння на міцність цементобетону. Схоплювання та твердіння розчинів на основі цементу обумовлено його хімічною взаємодією з водою. Силікати, алюмінати та алюмоферити, які входять до складу портландцементу, забезпечують підвищення міцності на різних стадіях затвердіння.

Швидкість хімічних реакцій залежить від наявності каталізаторів (спеціальних добавок) та температури.

Бетонні конструкції бувають різні, тому слід розраховувати співвідношення компонентів розчину і припускати терміни схоплювання і твердіння.

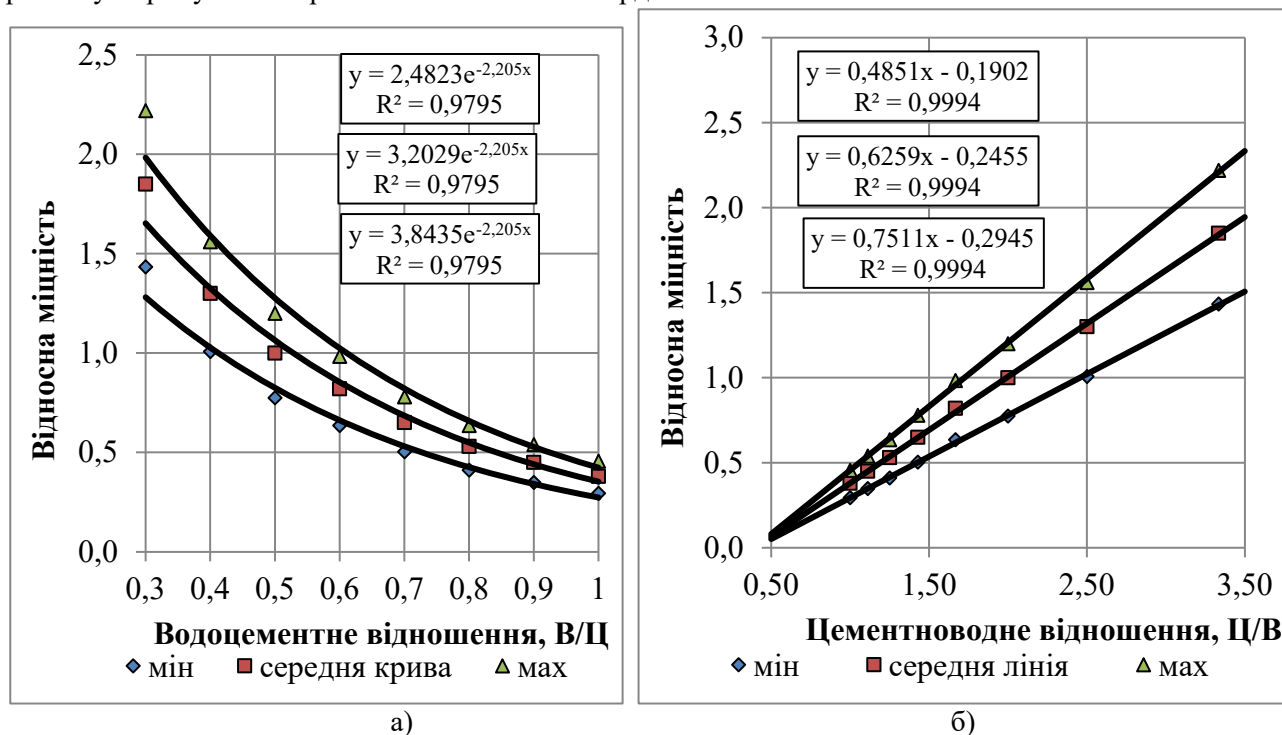


Рисунок 5 – Залежність відносної міцності бетону до цементу (R_b/R_c) від а) В/Ц та б) Ц/В відношення за даними EN ДСТУ Б EN 197-1:2015

Figure 5 – Dependence of the relative strength of concrete to cement (R_b/R_c) on a) W/C and b) C/C ratio according to EN DSTU B EN 197-1:2015

Випаровування та охолоджувальний ефект при твердінні цементобетону взимку

1. Втрата енергії через випаровування є значно важливішою, ніж через конвекцію

В умовах низьких температур ключовим механізмом втрати тепла бетонною сумішшю є випаровування води з поверхні, а не теплообмін між гарячим бетоном і холодним повітрям. Під час випаровування вода забирає значну кількість теплової енергії, спричиняючи охолодження бетону набагато швидше, ніж при звичайній конвекції. Це явище особливо помітне на ранніх етапах твердіння, коли бетон потребує стабільних теплових умов.

2. Екстремально висока втрата енергії через випаровування взимку

У холодну і суху погоду інтенсивність випаровування і відповідно втрати енергії збільшується. Холодне і сухе повітря сприяє швидкому випаровуванню вологи з поверхні бетону, що призводить до значної втрати тепла. Цей процес може призвести до надмірного охолодження бетону, що загрожує затримкою гідrataції цементу та сповільненням набору міцності, а також підвищує ризик замерзання на ранніх стадіях.

3. Аналогія з роботою кондиціонера

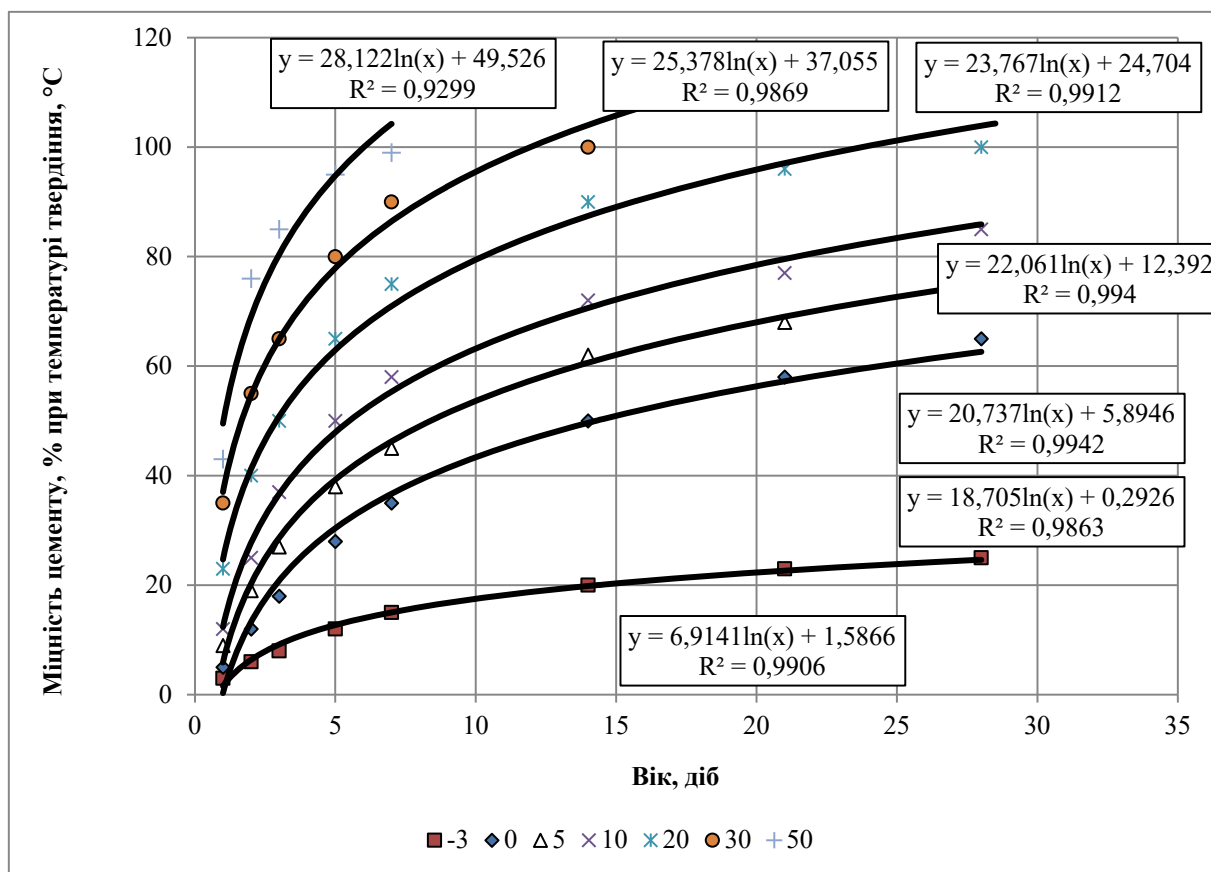


Рисунок 6 – Відносна міцність цементобетону в залежності від температури твердіння
Figure 6 – Relative strength of cement concrete as a function of hardening temperature.

За результатами апроксимації існуючих даних відносної міцності цементобетону від температури (T , °C) та часу твердіння (t , діб) отримана проста залежність:

$$R_{відн}(t, T) = A * \ln(t) + B(T), \quad (1)$$

де A - показник перед логарифмічною залежністю, що характеризує темп набору міцності. Показник A практично не залежить від температури, і може бути прийнятий рівним 26,81.

B - показник, що характеризує лінійну залежність набору міцності від температури,

$$B = 1,4253 * T - 22,09.$$

Похибка залежності (1) при твердненні від 3 до 28 діб в діапазоні температур 5 ... 50 °C не перевищує -5 ... +4,3%.

Принцип втрати енергії через випаровування можна порівняти з дією кондиціонера. Холодне повітря при контакті з теплою поверхнею бетону нагрівається через конвекцію, проте цей нагрітий шар повітря стає здатним "всмоктувати" вологу і енергію з поверхні бетону. Це призводить до наступних процесів:

– **Нагрівання повітря на поверхні бетону:** Коли холодне повітря стикається з гарячою бетонною поверхнею, воно нагрівається через теплообмін, проте конвекція грає менш значну роль порівняно з випаровуванням.

– **Випаровування вологи та втрата енергії:** Після нагрівання повітря з поверхні бетону воно поглинає вологу та тепло, спричиняючи суттєву втрату енергії, що призводить до охолодження бетону. Таким чином, сам процес випаровування має ефект, подібний до кондиціонування: бетон охолоджується через активне випаровування вологи з його поверхні.

Тест SINTEF: Вплив плівкоутворюючої мембрани Маресуре Е на утворення тріщин в цементобетоні

Аналіз результатів випробувань:

- усі не захищені зразки в тесті SINTEF мали тріщини на ранніх етапах твердіння.
- жоден із зразків оброблених Маресуре Е не мав тріщини на поверхні.
- через 10 годин співвідношення випаровування вологи з Маресуре Е і без складо 1:6.

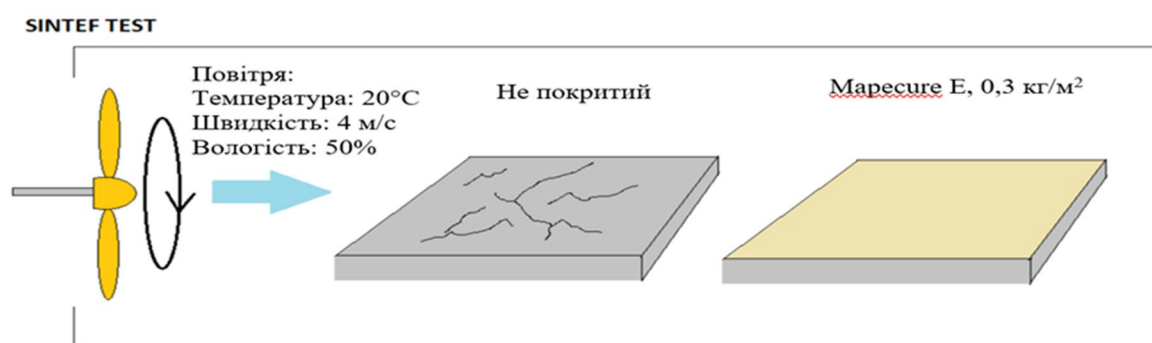


Рисунок 7 – Схема проведення тесту SINTEF

Figure 7 – Scheme of the SINTEF test

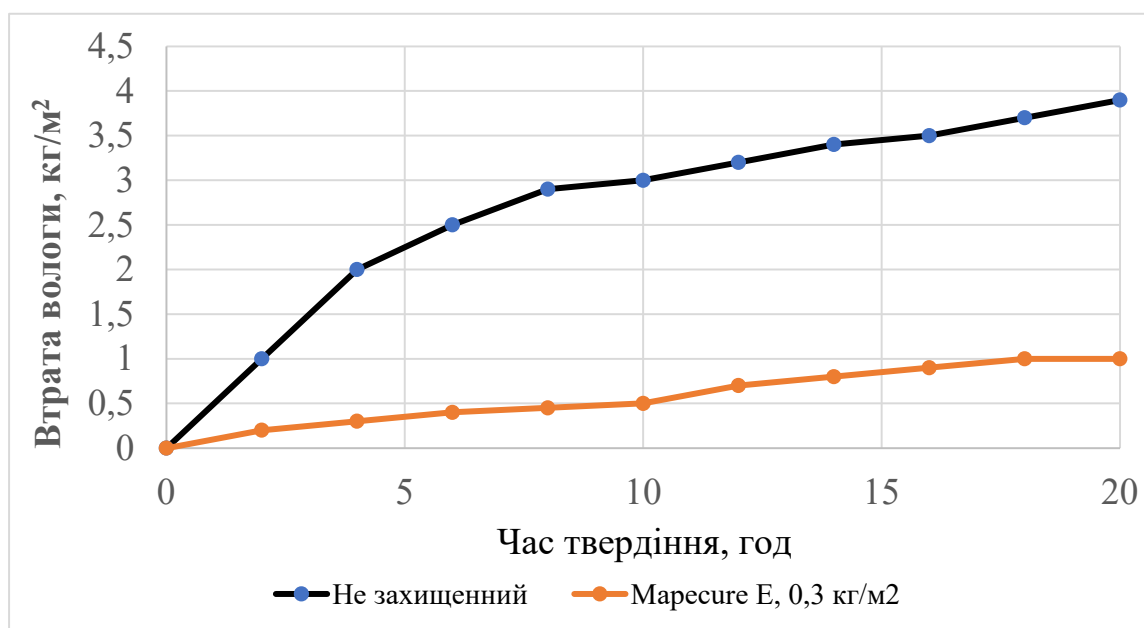


Рисунок 8 – Вплив матеріалу для догляду на випаровування вологи, тест SINTEF
Figure 8 – Effect of curing agent on moisture evaporation, SINTEF Test

Через 20 год це співвідношення склало 1:4.

Вплив матеріалів опалубки на втрату тепла

1. Чисто сталева опалубка

Сталеві форми мають високу теплопровідність, тому втрати тепла через таку опалубку відбуваються швидше. Оскільки сталь ефективно передає тепло, бетон в сталевих формах швидко охолоджується. Це може вимагати додаткових заходів з утеплення або підігріву, щоб запобігти надмірній втраті тепла під час твердіння в зимових умовах.

2. Сталева конструкція з використанням фанери

Опалубка, яка поєднує сталеву конструкцію і фанеру, має дещо кращі теплоізоляційні властивості порівняно з чисто сталевією. Фанера виступає як бар'єр, який дещо знижує швидкість втрати тепла, забезпечуючи більш стабільні температурні умови для твердіння бетону.

3. Дерев'яна конструкція з фанерою

Дерев'яна опалубка з фанерою має найкращі теплоізоляційні властивості серед згаданих матеріалів. Дерево погано проводить тепло, що допомагає мінімізувати втрати тепла і зберігати тепло всередині бетонної маси на довший час. Це робить її оптимальним вибором для зимових умов, оскільки вона знижує ризик надмірного охолодження бетону.

Матеріал опалубки суттєво впливає на процес твердіння бетону в умовах низьких температур. Використання більш теплоізоляційних матеріалів, таких як дерево і фанера, допомагає зменшити втрати тепла і покращити умови твердіння, що особливо важливо при бетонуванні взимку.

Рекомендації щодо догляду за бетоном від NORCEM by Heidelbergcement Group [20]

На рисунках 7 та 8 зображені рекомендації по методам догляду за бетоном в залежності від температури бетону та повітря відповідно для бетонної плити на ґрунті та стіни.

Температура бетону

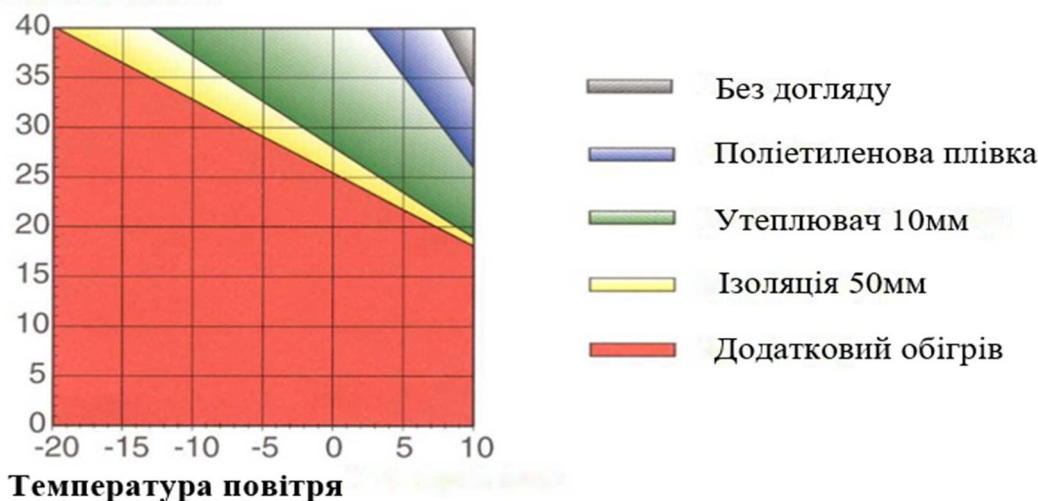


Рисунок 9 – Для бетонної плити в ґрунті
 Figure 9 – For slab on ground.

Температура бетону

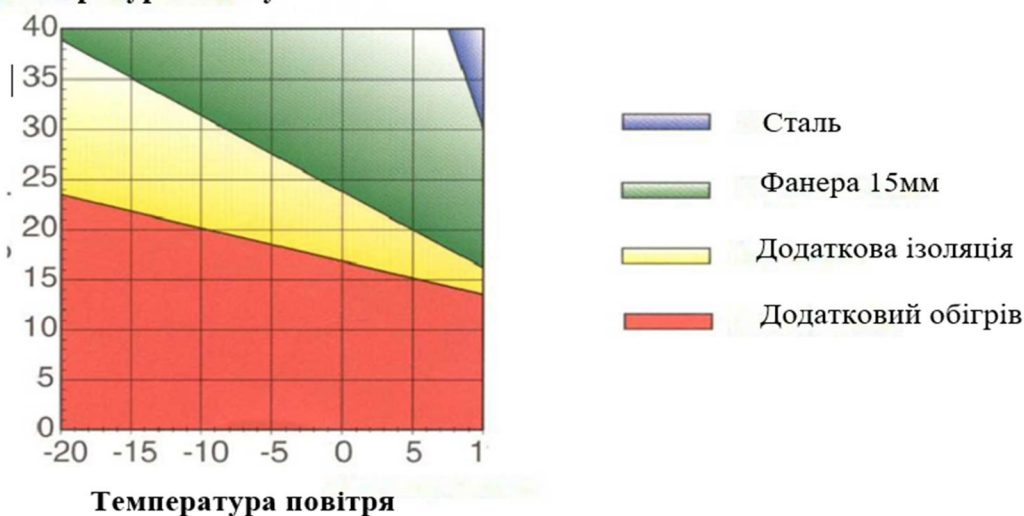


Рисунок10 – Для стін товщиною 200 мм.
 Figure 10 – For concrete walls 200 mm.

Рекомендовані до застосування по догляду за бетоном продукти Маресуре[®] system від Марей наведено в табл. 3.

Таблиця 3 – Рекомендовані до застосування по догляду за бетоном продукти Mapecure® system від Mapei

Table 3 – Mapecure® system products recommended for concrete care by Mapei

Застосування	Продукти Mapecure®	Зменшення випаровування вологи (ASTM C309-C156)	Основа
Всі види застосування, найбільш ефективний	Mapecure E	84%	Парафіновий віск
Всі види застосування, не потребує очищення перед нанесенням послідовних матеріалів.	Mapecure WG	71%	Акрилова основа
Допоміжні засоби для полірування, тимчасовий засіб перед поліруванням	Mapecrete Film	-	Полімерна плівка

Ріст міцності на стиск цементобетонних зразків – кубів від часу тверднення для різних вмістів добавки SRA наведено на рис. 10.

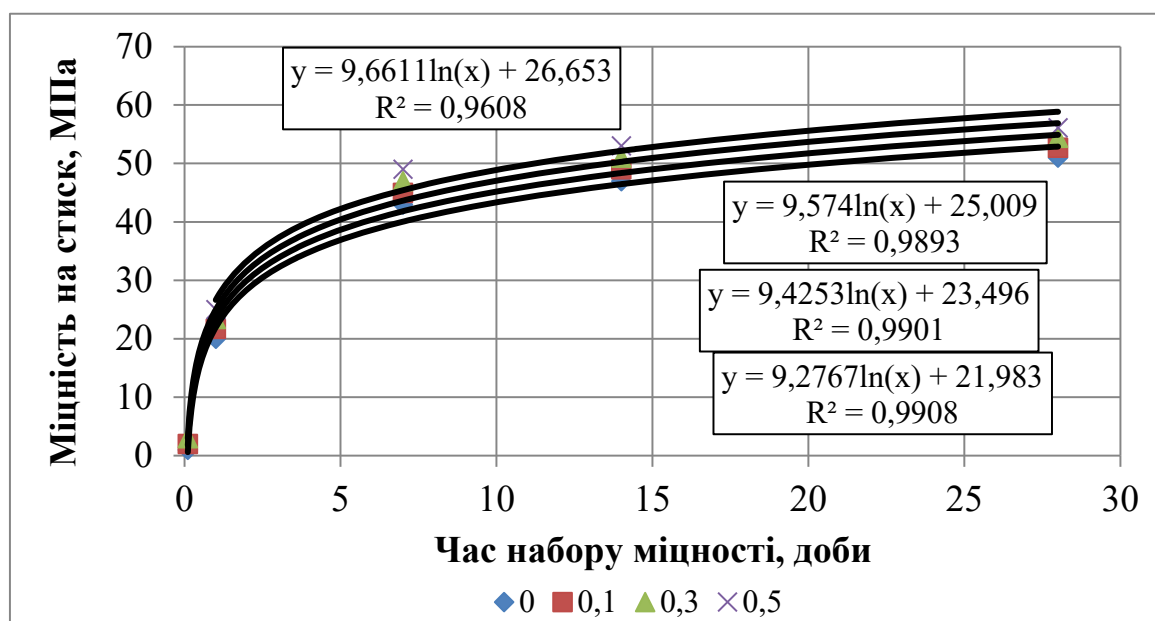


Рисунок 10 – Ріст міцності на стиск цементобетонних зразків від часу тверднення
Figure 10 – Growth in compressive strength of cement concrete samples with hardening time

Як слідує із рис. 11 використання добавки SRA дозволяє як збільшити мацність цементобетону так і прискорити зняття опалубки.

Висновки. Згідно лабораторних досліджень проведених компанією Mapei, у співробітництві з кафедрою СПОТІ та геодезії, застосування плівкоутворюючих матеріалів із лінійки продуктів Mapecure знижує випаровування вологи до 84% у порівнянні з не захищеним бетоном. Це дозволяє зберегти

необхідну вологу в бетоні для проходження процесів твердіння в найбільш сприятливих умовах та отримати якісну конструкцію чи виріб з бетону.

1. Застосування матеріалів Марей для догляду за бетоном є доцільним як у літній, так і в зимовий періоди. В зимових умовах вони сприяють запобіганню швидкому випаровуванню вологи та втраті тепла, що захищає бетон від замерзання на ранніх стадіях твердіння і дозволяє підтримувати необхідну температуру для набору міцності.

2. На основі виконаних досліджень розроблено “Методичні рекомендації щодо догляду за твердіючим монолітним цементобетоном дорожнього покриття”.

Матеріали статті підготовлено за результатами досліджень в рамках виконання наукової та науково-дослідної роботи згідно з лотом № 38: «Провести дослідження та розробити методичні рекомендації щодо догляду за твердіючим монолітним цементобетоном дорожнього покриття» на замовлення Державного агентства відновлення та розвитку інфраструктури України та проекту 2023.04/0097 «Створення технології та системи оперативного аналізу та управління станом цементобетонного покриття об’єктів критичної інфраструктури на основі спектральних фото інформаційних зображень», що фінансується Національним фондом досліджень України.

Перелік посилань

1. American Concrete Institute (ACI). ACI 308 R. “Guide for Curing Concrete.” ACI Manual of Concrete Practice. Farmington Hills, MI.

2. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). AASHTO T 158. Specification for Bleeding of Concrete. Washington, DC.

3. ACI 308. “Standard Practice for Curing Concrete.” ACI Manual of Concrete Practice. Farmington Hills, MI.

4. ACI 305 R. “Hot Weather Concreting.” ACI Manual of Concrete Practice. Farmington Hills, MI.

5. Poole T.S. Curing of Portland Cement Concrete Pavements, Volume II Final Report. FHWA-HRT-05-038. 2004.

6. AASHTO T 23. Specification for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field. Washington, DC.

7. ASTM C 31. “Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field.” Annual Book of ASTM Standards. Vol. 04.02. West Conshohocken, PA.

8. AASHTO M 148. Specification for Liquid Membrane-Forming Compounds for Curing Concrete. Washington, DC.

9. ASTM C 309. “Standard Specification for Liquid Membrane-Forming Compounds for Curing Concrete.” Annual Book of ASTM Standards. Vol. 04.02. West Conshohocken, PA.

10. ASTM C 1315. “Standard Specification for Liquid Membrane-Forming Compounds Having Special Properties for Curing and Sealing Concrete.” Annual Book of ASTM Standards. Vol. 04.02. West Conshohocken, PA.

11. AASHTO T 155. Specification for Water Retention by Concrete Curing Materials. Washington, DC.

12. ASTM C 156. “Standard Test Method for Water Retention by Concrete Curing Materials.” Annual Book of ASTM Standards. Vol. 04.02. West Conshohocken, PA.

13. Texas Department of Transportation, Departmental Material Specification: DMS- 8120, “Liquid Membrane-Forming Compounds for Curing Concrete.” Austin, TX. 1998.

14. Poole, T.S. "Methods for Measuring Application Rate of Liquid Membrane- Forming Curing Compounds on Concrete Pavements." Proceedings of 7th International Conference on Concrete Pavements, International Society for Concrete Pavements, September 2001, pp. 351-360.

15. ASTM C 171. "Standard Specification for Sheet Materials for Curing Concrete." Annual Book of ASTM Standards. Vol. 04.02. West Conshohocken, PA.

16. AASHTO M 171. Specification for Sheet Materials for Curing Concrete. Washington, DC.

17. ACI 325.9 R. "Guide for Construction of Concrete Pavements and Concrete Bases." ACI Manual of Concrete Practice. Farmington Hills, MI.

18. ASTM C 1151. "Test Method for Evaluating the Effectiveness of Materials for Curing Concrete." Now withdrawn. Last existed as ASTM C 1151-91 in Annual Book of ASTM Standards. Vol. 04.02. West Conshohocken, PA.

19. ДСТУ Б EN 197-1:2015 Цемент. Частина 1. Склад, технічні умови та критерії відповідності для звичайних цементів (EN 197-1:2011, IDT).

20. NORCEM by Heidelbergcement Group.

21. Методичні рекомендації щодо догляду за твердіючим монолітним цементобетоном дорожнього покриття.

FEATURES OF CARING FOR HARDENED ROAD CONCRETE WHEN ESTABLISHING A MONOLITHIC CEMENT CONCRETE ROAD SURFACE. Part 2. Analysis of the results of experimental studies and methodical recommendations.

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, +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, +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, +380503527237, <https://orcid.org/0009-0001-6970-532X>

Abstract. Achieving sufficient concrete strength during drying (moisture loss) is important for the continuation of concrete and other construction works. Early assessment of concrete strength reduces downtime while waiting for hardening. Temperature and humidity are important factors affecting curing time. Development of a detailed methodology for calculating complex maturity taking into account external and internal parameters, such as internal and ambient temperature and relative humidity of the environment, which would weigh the ratio of the influence of each parameter and most accurately convey the relationship between the gained strength and the maturity of concrete during the hardening time.

Key words: cement concrete, concrete strength, concrete curing, evaporation, experimental research.

References

1. American Concrete Institute (ACI). ACI 308 R. "Guide for Curing Concrete." ACI Manual of Concrete Practice. Farmington Hills, MI.
2. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). AASHTO T 158. Specification for Bleeding of Concrete. Washington, DC.

3. ACI 308. "Standard Practice for Curing Concrete." ACI Manual of Concrete Practice. Farmington Hills, MI.
4. ACI 305 R. "Hot Weather Concreting." ACI Manual of Concrete Practice. Farmington Hills, MI.
5. Poole T.S. Curing of Portland Cement Concrete Pavements, Volume II Final Report. FHWA-HRT-05-038. 2004.
6. AASHTO T 23. Specification for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field. Washington, DC.
7. ASTM C 31. "Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field." Annual Book of ASTM Standards. Vol. 04.02. West Conshohocken, PA.
8. AASHTO M 148. Specification for Liquid Membrane-Forming Compounds for Curing Concrete. Washington, DC.
9. ASTM C 309. "Standard Specification for Liquid Membrane-Forming Compounds for Curing Concrete." Annual Book of ASTM Standards. Vol. 04.02. West Conshohocken, PA.
10. ASTM C 1315. "Standard Specification for Liquid Membrane-Forming Compounds Having Special Properties for Curing and Sealing Concrete." Annual Book of ASTM Standards. Vol. 04.02. West Conshohocken, PA.
11. AASHTO T 155. Specification for Water Retention by Concrete Curing Materials. Washington, DC.
12. ASTM C 156. "Standard Test Method for Water Retention by Concrete Curing Materials." Annual Book of ASTM Standards. Vol. 04.02. West Conshohocken, PA.
13. Texas Department of Transportation, Departmental Material Specification: DMS- 8120, "Liquid Membrane-Forming Compounds for Curing Concrete." Austin, TX. 1998.
14. Poole, T.S. "Methods for Measuring Application Rate of Liquid Membrane- Forming Curing Compounds on Concrete Pavements." Proceedings of 7th International Conference on Concrete Pavements, International Society for Concrete Pavements, September 2001, pp. 351-360.
15. ASTM C 171. "Standard Specification for Sheet Materials for Curing Concrete." Annual Book of ASTM Standards. Vol. 04.02. West Conshohocken, PA.
16. AASHTO M 171. Specification for Sheet Materials for Curing Concrete. Washington, DC.
17. ACI 325.9 R. "Guide for Construction of Concrete Pavements and Concrete Bases." ACI Manual of Concrete Practice. Farmington Hills, MI.
18. ASTM C 1151. "Test Method for Evaluating the Effectiveness of Materials for Curing Concrete." Now withdrawn. Last existed as ASTM C 1151-91 in Annual Book of ASTM Standards. Vol. 04.02. West Conshohocken, PA.
19. DSTU B EN 197-1:2015 Tsement. Chastyna 1. Sklad, tekhnichni umovy ta kryterii vidpovidnosti dlia zvychainykh tsementiv (EN 197-1:2011, IDT).
20. NORCEM by Heidelbergcement Group.
21. Metodychni rekomendatsii shchodo dohliadu za tverdiuchym monolitnym tsementobetonom dorozhnoho pokryvu.