

УДК 666. 972. 16

*Чистяков В.В., доктор техн. наук, професор
КНУБА, м. Київ,*

*Шургая А.Г., нач. лабораторії, МЗ №112,
м. Бровари,*

Дорошенко Ю.М., канд. техн. наук, професор,

Чиженко Н.П., асистент НТУ, м. Київ

Кабусь А.В. аспірант, ХНУБА, м. Харків;

Коваль А.Б., студент КНУБА

МОДИФІКОВАНІ ЦЕМЕНТОБЕТОНИ ДЛЯ ПОКРИТТЯ ДОРІГ

Розвиток дорожньої інфраструктури передбачає будівництво сучасних автомагістралей з високими транспортно-експлуатаційними характеристиками і є надзвичайно актуальним завданням для інтеграції України в Європейське співтовариство. Реалії значного приросту інтенсивності і вантажонапруженості автомобільного руху вимагають будівництва дорожніх одягів підвищеної довговічності, застосування сучасних будівельних матеріалів і нових технологій [1].

Вітчизняний і зарубіжний досвід будівництва доріг з одягом жорсткого типу підтверджує перспективність широкого впровадження цементних бетонів для забезпечення надійної та безвідмовної їх експлуатації протягом тривалого періоду при незначних витратах на утримання. Закордоном розрахунковий період експлуатації покриттів жорсткого типу становить 35-50, в Україні - 25-40 років. Протяжність доріг з цементобетонним покриттям в Україні становить близько 3 тис. км, що відповідає частці в 6 % для доріг з удосконаленим покриттям. Це значно нижче європейських показників, і є підставою для розвитку дорожньої інфраструктури в цьому напрямку. До переваг жорстких дорожніх одягів можна віднести: значно довший термін нормативної експлуатації до капітального ремонту (реконструкції) в порівнянні з нежорсткими дорожніми одягами; кращі можливості для проїзду транспортних засобів з наднормативними навантаженнями на вісь; стабільність фізико-механічних властивостей від природно-кліматичних факторів і, в першу чергу, від температурно-вологісних умов експлуатації; зростання міцності цементобетону з часом; високі показники довговічності - морозо- і водостійкості, корозійної стійкості і т.д.; мінімальні експлуатаційні витрати. Слід взяти до уваги той факт, що нафтові бітуми в Україні є, переважно, імпортованим продуктом, широке впровадження цементного бетону підвищеної тріщиностійкості в практику будівництва дорожніх одягів дозволить значно збільшити темпи будівництва сучасних автомагістралей, які за своїми транспортно-експлуатаційними показниками не поступаються європейським аналогам, а також підвищити їх довговічність і надійність.

Основними факторами, що викликають руйнування дорожніх бетонів є: вилуговування і вимивання поверхневого шару бетону, вплив розчинів солей, важкі температурні умови в зимовий час і постійні механічні дії на поверхню бетону. Як правило, ці фактори впливають на бетон в комплексі.

Одним із існуючих способів покращення властивостей бетонів для покриття доріг є їх модифікація хімічними добавками. В Україні хімічні добавки застосовують майже у всіх сферах виробництва бетону, що сприяє появі нових технологій, реалізувати які без добавок було б просто не можливо. Сучасний цементобетону перетворюється завдяки новим хімічним добавкам у більш складний композиційний матеріал, властивості якого перевершують традиційні склади [2].

Проте для отримання цементних бетонів з підвищеною міцністю, морозостійкістю, водонепроникливістю, корозійною стійкістю найбільш ефективно застосовувати не окрему хімічну добавку, а спеціально підібраний комплекс добавок поліфункціональної дії в залежності від призначення цементобетону і вимог до нього.

До складу комплексної хімічної добавки повинен входити ефективний суперпластифікатор, а також можуть входити добавки, які впливають на кінетику твердіння, повітрявтягуючі добавки (аеранти) і тонкодисперсні мінеральні наповнювачі [3]. У Мостозагоні - 112 м. Бровари, авторами даної статті проводились дослідження з підбору складів бетонів модифікованих комплексними добавками поліфункціональної дії. Метою роботи було отримання цементного бетону з легкоукладальністю

П1-П2, «живучістю» суміші не менше 2 годин, з вимогами по морозостійкості не менше F 200 та класом бетону В25-В50.

При проведенні досліджень використовували такі матеріали:

- Портландцемент - ПЦ І - 500-Н (ДСТУ Б В.2.7.-46-96)

Заповнювачі:

- пісок кварцевий, дніпровський, $M_{кр} = 1,72$; насипна щільність – 1570 кг/м^3 ;
- щебінь гранітний (ДСТУ Б В.2,7-75-98):
 - фракції 5-10 мм, насипна щільність 1280 кг/м^3 ;
 - фракції 10-20 мм, насипна щільність 1335 кг/м^3 .

У результаті виконаної роботи була розроблена комплексна добавка поліфункціональної дії на основі компонентів вітчизняного виробництва - ШАГ-2 – модифікована комплексна добавка (патент України № 37100). До складу комплексної добавки ШАГ-2 входить: суперпластифікатор, пластифікатор, гідрофобізатор, піногасник і аерант. Застосування аеранта обумовлено тим, що обсяг залученого повітря в бетонній суміші для одношарових та верхнього шару двошарових покриттів повинен забезпечуватися на рівні 5-7%, для нижнього шару двошарових покриттів 3-5% [4]. Завдяки направленому підбору компонентів і їх співвідношенню комплексна добавка забезпечує підвищення життєздатності бетонної суміші (240 хвилин), а також суттєве зростання показників міцності, водонепроникливості та морозостійкості (табл. 1).

Таблиця 1- Склади і характеристики цементних бетонів

№ складу ц/б	Ц, кг/м ³	П, кг/м ³	Щ ₅₋₁₀ , кг/м ³	Щ ₁₀₋₂₀ , кг/м ³	В, л/м ³	Добавка від маси цементу, %	Осадка конуса, см через хв.		В/Ц	Об'єм залученого повітря, % (через 30 мин.)	Границя міцності при стиску, МПа, при нормальних умовах твердіння у віці, діб			
							5	30			3	7	28	56
1	350	737	342	796	161	-	3	2,5	0,441	4,33	19,41	21,98	35,27	44,07
2	325	696	397	940	120	0,8	2,0	1,0	0,366	4,59	21,75	46,50	59,43	61,83
2 а	350	584	417	965	121		1,5	1,0	0,343	4,98	24,29	56,21	66,24	70,95
3	325	618	417	965	115	1,0	3,5	1,5	0,354	5,85	35,15	48,51	60,03	63,15
3 а	350	598	417	965	114		1,5	1,0	0,328	5,04	22,44	50,80	68,83	71,00
4	325	627	417	965	110	1,1	1,0	1,0	0,341	5,32	30,11	51,52	60,66	61,17
4 а	350	598	417	965	110		2,0	1,5	0,331	5,18	22,84	54,55	63,80	67,95

З отриманих результатів видно, що при використанні цементу в кількості 325, 350 кг/м³ і оптимальної кількості комплексної добавки 1% від маси цементу можна отримати бетони класу В45-В50. Застосування комплексної добавки ШАГ-2 дозволяє зменшити кількість води замішування (на 40-50 л), при збереженні легкоукладальності і вмісту залученого повітря в бетонних сумішах. Доцільно зазначити, що при коригуванні складу добавки (збільшенні кількості аеранта) і зменшенні кількості дрібного заповнювача можна збільшити міцнісні показники ще на 3-5 %. Крім цього застосування фракції щебеню 20-40 дозволяє підвищити міцність на 8-12 %.

Границя міцності на стиск у віці 28 діб у порівнянні з контрольним складом підвищується на 68 – 95 %.

Бетонні зразки-куби ($10 \times 10 \times 10$ см) були випробувані на морозостійкість в ДерждорНДІ ім. Шульгіна. Випробування проводилися згідно прискореного методу [5]. В результаті було встановлено, що марка по морозостійкості випробовуваних складів з комплексною добавкою поліфункціонального дії ШАГ-2 склала не менше F300, що в 3 рази більше в порівнянні з контрольним складом - $\leq F100$. Марка бетону по водонепроникності визначалася відповідно до [6], і становить W 8.

Важливо також зазначити, що оскільки дана добавка поліфункціональної дії, її застосування дозволяє не лише впливати на технологічні та міцнісні характеристики бетону, а й на його структуру, підвищуючи при цьому його морозостійкість, водонепроникність і довговічність.

Механізм дії запропонованої комплексної добавки досліджувався з використанням спеціальних методів: АРДС (акустичний резонанс дисперсних структур) [7], калориметричних методів [11] та диференційно – термічного аналізу – ДТА.

Для дослідження особливостей процесів твердіння цементу і бетону застосовувався метод акустичного резонансу дисперсних структур (АРДС), розроблений І.Г. Гранковським [7]. Даний метод дозволяє отримати кількісні характеристики зміни пружних властивостей цементно-водної дисперсії (зміна пластичної міцності). Ця характеристика визначається за результатами вимірювань частоти резонансу $\omega_{рез}$ (рис.1). [7]. Амплітуда резонансу $A_{рез}$ (рис.1) дає можливість фіксувати диспергаційні або агрегаційні процеси твердіючої системи [7-10].

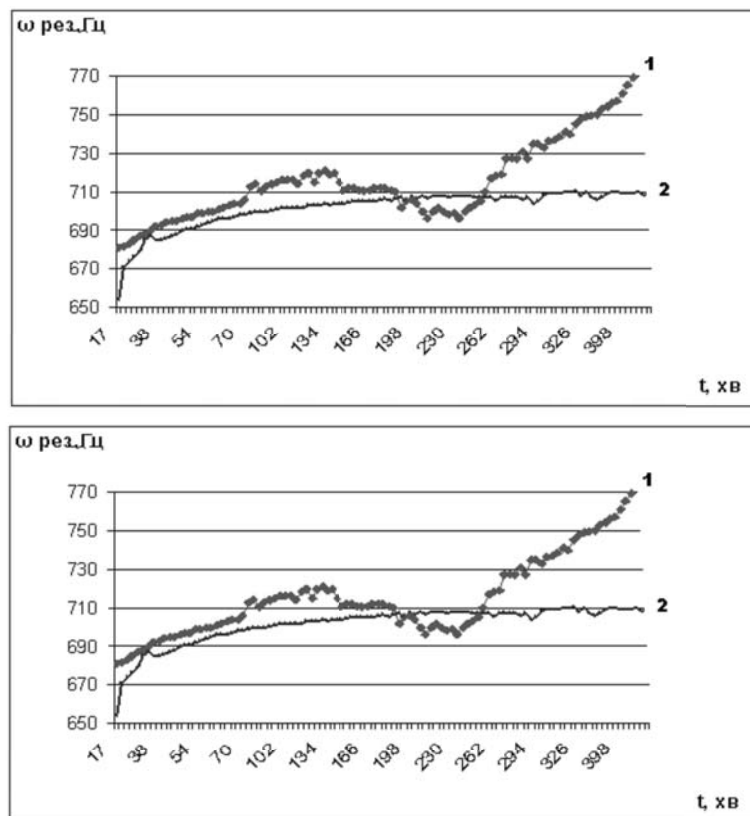


Рисунок 1 – Кінетичні криві структуроутворення цементно-водної дисперсії

1 – без добавки, В/Ц=0,3;

2 – з комплексною добавкою ШАГ-2, В/Ц=0,216

У модифікованого складу одразу після замішування цементу на протязі 20 хв. фіксується суттєве підвищення амплітуди резонансу $A_{рез}$, що свідчить про більшу інтенсивність диспергаційних процесів похідних частинок цементу в порівнянні з контрольним складом.

Надалі в цементній системі фіксуються агрегаційні (конденсаційні) процеси – зменшення $A_{рез}$. При досягненні мінімального значення $A_{рез}$ на кривій $\omega_{рез}$ фіксується незначний спад пружних властивостей. Це обумовлено вивільненням частини (5- 15 %) раніше звільненої гідратними новоутвореннями води [7-9]. Цей період відповідає першій стадії структуроутворення.

Наведені вище процеси відбуваються до початку тужавлення цементно – водної дисперсії. На цьому етапі формується матриця майбутньої конденсаційно-кристалізаційної структури – носія міцності цементного каменю і бетону.

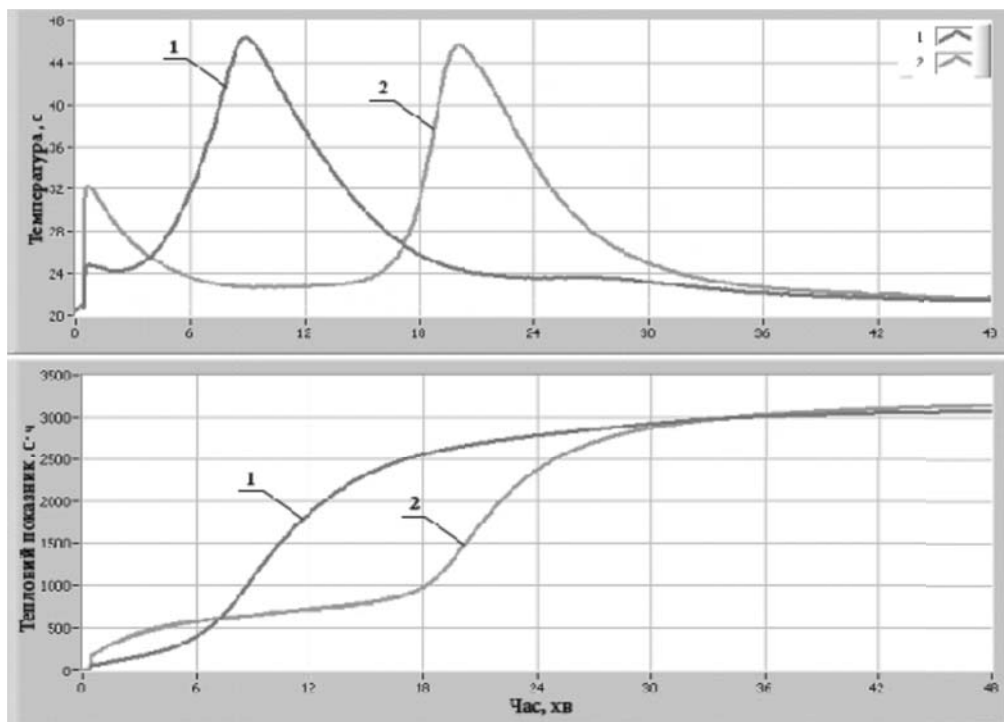
Проте у контрольного складу інтенсивність диспергаційних процесів на початкових стадіях тверднення поступається модифікованому складу. В той час як $\omega_{рез}$ (пружні властивості) контрольного складу спочатку незначно перевищує модифікований склад, але через 4 години ця різниця досить значна, що вказує на втрату легкоукладальності бетонної суміші.

В ХНУБА, в лабораторії професора Ушєрова-Маршака Олександра Володимировича були проведені дослідження впливу добавки на тепловиділення портландцементу.

Експеримент проводився на напівдіабатичному (термосному) калориметрі УСК.

Екзо- або ендоефекти, що виникають на ранніх стадіях взаємодії компонентів цементної системи, прямо пов'язані із кінетикою гідратації, яка, в свою чергу, обумовлює швидкість твердіння та набір міцності цементу і бетону. Дослідження термокінетичних закономірностей гідратації — один зі способів одержання об'єктивної кількісної інформації для оцінки фізико-хімічного впливу добавок, а також прогнозування їх ефективності [11].

Встановлення взаємозв'язків термокінетичних показників з характеристиками твердіння цементів та бетонів, властивостями бетонної суміші представляється складовою частиною проблеми підвищення ефективності добавок в бетони.



**Рисунок 2 – Вплив добавки ШАГ-2 на тепловиділення портландцементу
1 – контрольний склад; 2– з добавкою ШАГ-2**

Термокінетичні залежності (рис. 2) свідчать про більшу інтенсивність процесів гідратації цементно-водної дисперсії одразу після замішування (перші 10 хв.). Цей ефект обумовлений збільшеною реакційно-спроможною поверхнею цементу в модифікованому складі, за рахунок більш інтенсивних процесів диспергації похідних частинок цементу (крива $A_{рез}$, рис.1). Але надалі тепловиділення цементно-водної дисперсії бетону поступається контрольному складу. Теплота гідратації з добавкою ШАГ-2 через 24 години знижена на 15 %, але надалі поступово підвищується і через 48 годин ці показники вирівнюються.

Зменшене тепловиділення на протязі 24 годин позитивно відображується на початкових процесах тріщиноутворення бетону, тобто зменшення екзотермії зменшує температурні напруження в бетоні, що в результаті суттєво зменшує процеси тріщиноутворення на початкових стадіях твердіння.

Таблиця 2 - Основні термодинамічні параметри

№	Закінчення індукційного періоду, год	Час досягнення T_{max}	ΔT_{max} , °C	Тепловий показник 24 год, °C·год	Тепловий показник 48 год, °C·год
1	2,2	8,9	25,6	2780 (1)	3075 (1)
2	11	20	24,7	2365 (0,85)	3140 (1,02)

У зразка з добавкою ШАГ–2 спостерігається значне збільшення індукційного періоду і, як наслідок, сповільнення процесів тужавлення.

Таким чином у результаті проведеної роботи була розроблена і досліджена комплексна добавка поліфункціональної дії ШАГ – 2, яка забезпечує підвищення показників міцності, водонепроникливості і морозостійкості.

ЛІТЕРАТУРА

1. Солодкий С.Й., Русин Р.М. Модифіковані бетони на композиційних цементах для влаштування жорстких дорожніх одягів.
2. Ушеров-Маршак А.В., Циак М. Химические и минеральные добавки в технологии цемента и бетона. Труды международной научно-практической конференции: Современные бетоны, компоненты, технология и качество, Хортица, 2003.
3. Петрова Т.М., Джаши Н.А., Смирнова О.М., Чистяков Э.Ю. Современные подходы к проектированию составов высокопрочных бетонов. Журнал «Строительный Тендер №42», 2009.
4. ВБН В.2.3. – 218 – 008 – 97. Проектування і будівництво жорстких та с жорсткими прошарками дорожніх одягів. – К.: - Укравтодор. – 1998. – 218 с.
5. ГОСТ 10060-95 Бетоны. Методы определения морозостойкости.
6. ГОСТ 12730.5-84 Бетоны. Методы определения водонепроницаемости.
7. Гранковский И.Г. Структурообразование в минеральных вяжущих системах.- Киев: Наукова думка, 1984, 299 с.
8. Чистяков В.В., Дорошенко Ю.М., Гранковский И.Г. Интенсификация твердения бетона.- Киев: Будівельник, 1988. – 118 с.
9. Гранковский И.Г., Чистяков В.В. Особенности гидратации и структурообразования портландцемента на ранних стадиях. // Журн. прикл. химии, - 1991. – Т. 54 № 1, с.15-20.
10. Чистяков В.В., Гранковский И.Г., Гоц В.Н.Формирование структуры твердения шлакощелочного вяжущего. // Журн. прикл. химии. – 1986. - Т. 59 № 3, с.590-595.
11. Ушеров-Маршак А.В. Калориметрия цемента и бетона.–Х.:Факт, 2002.–184 с.
12. Патент України № 37100.