

**УДК 691.32**

**МОДИФІКОВАНІ ЛИТІ БЕТОНИ ДЛЯ САМОНІВЕЛЬОВАНИХ ПІДЛОГ**

**МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ЛИТЫЕ БЕТОНЫ ДЛЯ САМОНИВЕЛЛИРОВАННЫХ ПОЛОВ**

**MODIFIED CAST CONCRETE FOR SELF-LEVELING FLOOR**

**Макаренко Р.М., к.т.н., проф.,** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

**Макаренко Р.М., к.т.н., проф.,** (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

**Makarenko R.M., candidate of technical sciences, professor.,** (National University of Water Management and Nature Resources, Rivne)

**Наведені результати дослідження цементів низької водопотреби (ЦНВ) з добавками золи-виносу і суперпластифікаторів різних типів. Показана ефективність отриманих ЦНВ у високоміцних бетонах.**

**Приведены результаты исследований цементов низкой водопотребности (ЦНВ) с добавкой золы-унос и суперпластификаторов различных типов. Показана эффективность полученных ЦНВ в высокопрочных бетонах.**

**The results of research cements low water cements with the addition of fly ash and different types of superplasticizers are presents. The efficiency obtained CLW in high-strength concretes is shown.**

**Ключові слова:**

Цемент низької водопотреби, зола-виносу, суперпластифікатор.

Цемент низкой водопотребности, зола-унос, суперпластификатор.

Low water cement, fly ash, superplasticizer.

**Цементний у тому числі цементно-золяний бетон як матеріал для покриття підлог у будівлях промислового та цивільного призначення має ряд суттєвих недоліків навіть при використанні добавок суперпластифікаторів. Це пов'язано з його низькою деформативністю та недостатньою зносостійкістю. Досліджували [1] можливість надання литим дрібнозернистим цементно-золяним бетонам комплексу властивостей важливих для покриття підлог за рахунок введення добавок**

поліфункціональних модифікаторів (ПФМ), що містять суперпластифікатор та полімерні добавки.

**Вихідними матеріалами** при проведенні досліджень служили портландцемент ПАТ "Волинь-цемент" (тип П за ДСТУ БД 2.7-49-2011) марок М400 и М500, зола-виносу Бурштинської ТЕС та кварцовий пісок різної крупності. Як компоненти ПФМ служили суперпластифікатор С-3, полівінілацетатна дисперсія (ПВАД) та сополімер ПВА – полівінілацетатвинілверсатат (ПВАВ).

Сумісність компонентів визначали дослідженням агрегативної стійкості ПФМ методом електроосмосу з встановленням величини  $\epsilon$ -потенціалу. На відміну від дисперсії ПВАД водний розчин ПВАВ утворює з розчином С-3 агрегативно стійкі системи, для яких відзначається несуттєва зміна  $\zeta$  - потенціалу.

У відповідності до сучасних уявлень до стійких відносять дисперсні системи, частинки яких мають розмір менше одного мікрона і знаходяться в активному броунівському русі. Розчини високомолекулярних сполук, до яких належать і досліджені водні розчини ПВАВ и С-3, хоча і наближаються за рядом властивостей до колоїдних систем, але не мають вираженої поверхні розділу між дисперсною фазою і дисперсним середовищем. Поперечний переріз розчинених часток залишається у межах молекулярних розмірів ( $10^{-8}$  см). При звичайному співвідношенні довжини до поперечного розміру таких молекул  $10^{-3} \dots 10^{-4}$  очевидно, що їх розмір не перевищує 1 мкм.

З проведених досліджень можна зробити важливий практичний висновок: компоненти поліфункціонального модифікатора ПФМ1-ПВАД і С-3 доцільно при виготовленні бетонних сумішей вводити окремо, ПФМ2 - ПВАВ і С-3 можна вводити спільно як у вигляді порошку, так і у вигляді водних розчинів.

Для вивчення впливу вмісту і складу ПФМ на властивості литих бетонних сумішей і бетонів були виконані алгоритмізовані експерименти з використанням ПФМ<sub>1</sub> і ПФМ<sub>2</sub> відповідно до трирівневого трифакторного плану В3 [2, 3] і отримано комплекс експериментально-статистичних моделей. Умови планування експериментів наведені в табл.1

Таблиця 1

Умови планування експериментів

№ з/п	Фактори	Кодоване позначення	Рівні варіювання		
			-1	0	+1
1	Вміст ПФМ, % маси цементу	X <sub>1</sub>	0,5	1,75	3
2	Масова частка (С-3) в складі ПФМ	X <sub>2</sub>	0	0,5	1,0
3	Співвідношення піску і цементу	X <sub>3</sub>	2	3	4
4	Водоцементне співвідношення	X <sub>4</sub>	0,3	0,45	0,6

При аналізі отриманих рівнянь (табл.2) звертає увагу високий рівень збіжності показників основних властивостей бетонних сумішей з двома

типами ПФМ. Розбіжність розрахункових значень водопотреби бетонних сумішей для двох ПФМ при варіюванні факторів у вибраній області складає на більше 5%, водовідділення – 20%, повітрявтягування - 10%. Як і слід було очікувати, найсуттєвіше зниження водопотреби має місце при переважанні у складі ПФМ суперпластифікатора С-3 (рис.3.23). При цьому найістотніше вплив С- 3 позначається уже при дозуванні 0.5% маси цементу (зменшення водопотреби біля 15%). Загальне зменшення водопотреби при вмісті С-3 3% складо 28.5%.

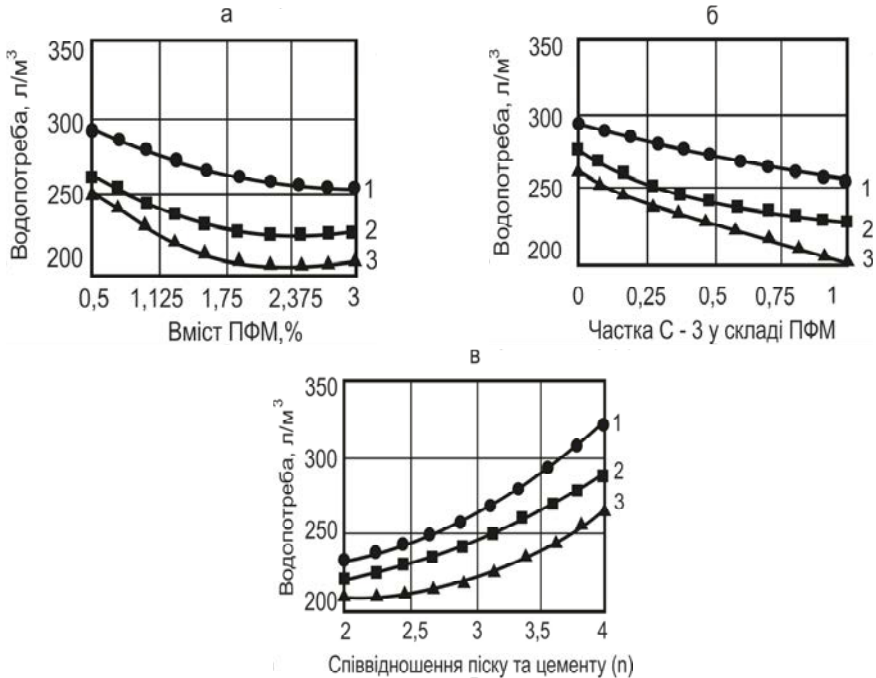


Рис. 1. Залежності водопотреби литих бетонів з добавками ПФМ<sub>1</sub>:

а - частка С-3 у складі ПФМ: 1 - 0; 2 - 0.5; 3 - 1; б - вміст ПФМ, %: 1 - 0.5; 2 - 1.75; 3 - 3; в - вміст ПФМ, %: 1 - 0.5; 2 - 1.75; 3 - 3

Полівінілацетатна дисперсія (ПВАД) і водний розчин полівінілацетатвінілверсатата (ПВАВ) можна віднести в досліджуваній області полімерцементних відношень до порівняно слабких пластифікаторів. При дозуванні до 0.5% від маси цементу вони викликають практично невідчутне зниження водопотреби бетонних сумішей при 3% воно складає біля 7%. Наявність в ПФМ обох компонентів приводить до мінімізації водовідділення бетонних сумішей. Це пояснюється, головним чином, здатністю до повітрявтягування досліджених полімерних добавок. Зі збільшенням вмісту полімерного компоненту від 0 до 3% в литі суміші

залучається додатково більше 1% повітря і сумарний вміст повітря в них підвищується до 3% .

Таблиця 2

Рівняння регресії для властивостей литих дрібнозернистих бетонних сумішей

№	Властивість	Рівняння
1	Водопотреба, л/м <sup>3</sup>	$y_1 = 235.6 - 20.9X_1 - 22.1X_2 + 38.90X_3 + 7.065X_1^2 + 7.065X_2^2 + 12.065X_3^2 - 8.875X_1X_2 - 9.375X_1X_3 - 8.625X_2X_3$
2	Водовідділення, %	$y_2 = 1.214 + 0.04X_1 + 0.44X_2 + 0.36X_3 - 0.021X_1^2 + 0.079X_2^2 - 0.021X_3^2 + 0.263X_1X_2$
3	Повітрявтягування, %	$y_3 = 2.187 - 0.475X_2 + 0.355X_3 - 0.020X_1^2 - 0.270X_2^2 + 0.08X_3^2 - 0.344X_1X_2 + 0.106X_1X_3 - 0.094X_2X_3$
4	Границя міцності при стиску (R <sub>ст</sub> ), МПа	$y_4 = 36.836 + 1.03X_1 + 3.6X_2 - 11.81X_4 - 1.136X_1^2 - 1.086X_2^2 + 3.064X_4^2 + 3.95X_1X_2$

Розрахункові криві повітрявтягування литих бетонних сумішей, отриманих на основі відповідних рівнянь регресії відображають відомий висновок, що в рухомих бетонних сумішах суперпластифікатори сприяють видаленню повітря. Спільне введення С-3 і ПВАД або ПВАВ попереджує вказаний негативний ефект.

Для литих пластифікованих бетонів практичне значення має збереження рухомості сумішей у часі. Вивчали зміну рухомості дрібнозернистих бетонних сумішей за зануренням стандартного конуса (ЗК) при температурі 20±2°С. Найнижчий темп падіння рухомості мають суміші, в яких ПФМ представлені лише ПВАД, а найвищий – С-3. Збільшення дозування добавки сприяє деякій стабілізації рухомості. Подовжений період «життєздатності» литих сумішей з добавкою ПВАД можна пояснити сповільнюючим впливом останньої на строки тужавлення цементного тіста і менш інтенсивною кінетикою росту пластичної міцності.

Збільшення вмісту ПФМ при В/Ц=const може сприяти або збільшенню, або зменшенню міцності на стиск бетону в залежності від складу композиційної добавки (рис.2 ). У випадку якщо ПФМ представлений тільки суперпластифікатором С-3 збільшення його вмісту при постійному В/Ц призводить до певного підвищення міцності. При В/Ц=0.45 збільшення вмісту С-3 від 0.5 до 3% призвело до росту міцності на 23...25%

Ефект інтенсифікації росту міцності бетонів із введенням суперпластифікаторів типу С-3 при  $V/C=const$  можна пояснити їх дефлокуючою дією. В результаті дефлокуляції суспензій цементу вивільняється з флокул вода, що призводить не тільки до розрідження, але й сприяє збільшенню ступеня гідратації.

Вплив досліджених ПФМ на міцність цементних композитів при згині ( $R_{зг}$ ) (рис.2) має ряд особливостей. Отримані дані показують, що в області порівняно невисоких концентрацій як ПВАД так і ПВАВ відчувається їх помітний позитивний вплив на міцність при згині ( $R_{зг}$ ) цементних композитів.

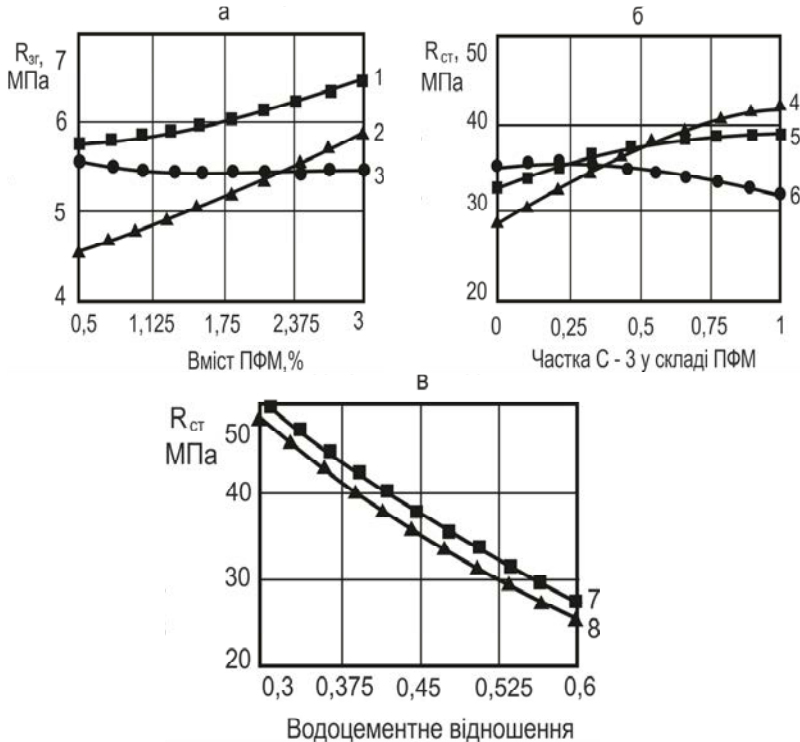


Рис. 2. Вплив факторів складу на міцність при згині ( $R_{зг}$ ) та при стиску ( $R_{ст}$ ) цементного бетону з добавкою ПФМ<sub>1</sub>.

1 -  $V/C=0.45$ ; 2 -  $V/C=0.6$ ; 3 -  $V/C=0.3$ ; 4 -  $V/C=0.6$ ; 5 -  $V/C=0.45$ ; 6 -  $V/C=0.3$ ;  
7 – частка С-3 в складі ПФМ -1; 8 - частка С-3 в складі ПФМ - 0.5;

На рис.3 показана кінетика зміни  $R_{ст}/R_{зг}$  бетонів з добавками ПФМ у міру твердіння. Для бетону без добавок і зі зниженим вмістом ПФМ особливо з перевагою С-3 характерна тенденція до збільшення  $R_{ст}/R_{зг}$  з переходом бетону від раннього до більш пізнього віку. Зі збільшенням вмісту ПФМ і частки в ньому полімерного компонента співвідношення параметрів

міцності стабілізується у часі, або навіть може спостерігатися тенденція до зниження  $R_{ст}/R_{зг}$ .

Однією з найбільш суттєвих переваг полімерцементних бетонів при використанні їх для підлог є їх знижене стирання (рис.4). При полімерцементному відношенні П/Ц=0.03 и В/Ц=0.3 стирання бетону складає 0.4 г/см<sup>2</sup>, при П/Ц=0.005-0.755 г/см<sup>2</sup>, тобто в 1.88 рази більше. (Досліди показали, що стирання бетону без добавок складає 0.79 г/см<sup>2</sup>).

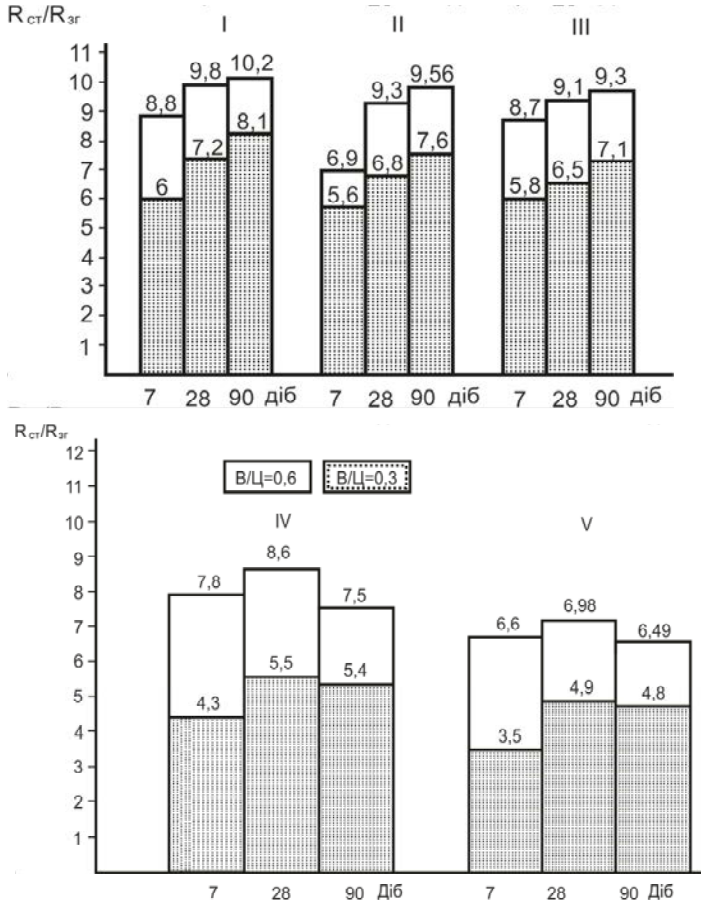


Рис.3. Кінетика зміни  $R_{ст}/R_{зг}$  для дрібнозернистого бетону з добавками ПФМ<sub>1</sub> в часі:

I - без добавок; II - ПФМ - 0.5%, частка С-3 у складі ПФМ - 1; III - ПФМ - 3%, частка С-3 у складі ПФМ - 1; IV - ПФМ - 0.5%, частка С-3 у складі ПФМ - 0; V - ПФМ - 3%, частка С-3 у складі ПФМ - 0

Бетони з добавками ПФМ показали більш високий опір ударним впливам. Збільшення роботи удару у бетонів при вмісті 3% ПФМ склало 18%. Підвищення ударної міцності добавками С-3 і ПВАД, які належать до групи ПАР, можна пояснити адсорбційним модифікуванням структури цементного каменю. Зміна масового співвідношення С-3 і ПВАД у складі ПФМ не призвело до суттєвої зміни впливу ПФМ на ударну міцність.

Практична технологія литих дрібнозернистих бетонів з добавками ПФМ може бути основана на безпосередньому введенні добавок при виготовленні готових бетонних сумішей або на попередньому отриманні сухих сумішей, що замішуються на об'єкті водою. Можливе використання і комбінованого способу, коли у суху суміш вводять лише один компонент ПФМ, другий же використовують у вигляді водного розчину або емульсії при отриманні бетонної суміші готової до використання.

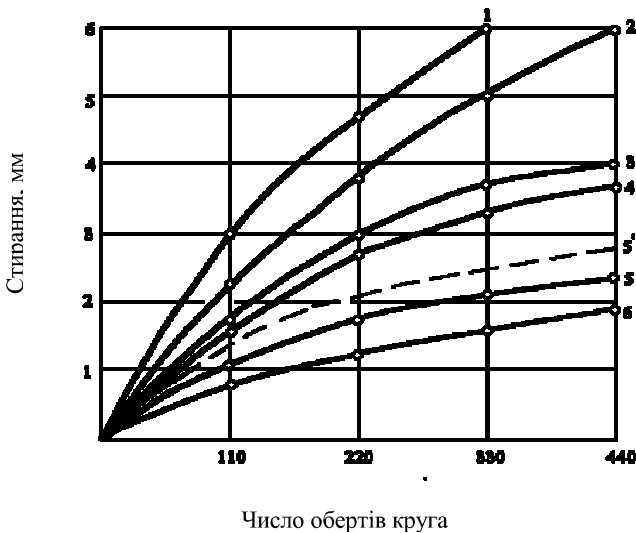


Рис 5. Стирання цементно-зольних бетонів з добавками ПФМ (В/Ц=0.5; золоцементне відношення З/Ц=0.4);

1 - без ПФМ; 2 - З/Ц=0 без ПФМ; 3 - 1% ПФМ (0.5% С-3+0.5% ПВАД); 4- 1% ПВАД; 5 - 3% ПФМ<sub>1</sub> (1.5 С-3+1.5% ПВАД); 5' - 3% ПФМ<sub>2</sub> (1.5% С-3+1.5% ПВАВ); 6 - 3% ПВАД.

1. Дворкин Л.И., Макаренко Р.М., Кизима В.Р. Цементно-зольные бетоны с добавками полифункциональных модификаторов (ПФМ) для покрытия полов промышленных и гражданских зданий. Рівне: УДУВГП, 2002, 123 с.; 2. Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В., Огарков Б.Л. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ. – К: Вища школа, 1989. – 328 с.; 3. Dvorkin L., Dvorkin O., Ribakov Y. Multi-Parametric Concrete Compositions Design. Nova Science Publishers, Inc. New York, USA, 2013, 223 pp.