

УДК 691.328

## **САМОУЩІЛЬНЮВАЛЬНІ ДРІБНОЗЕРНИСТІ ЗОЛО-ЦЕМЕНТНІ СУМІШІ З ПОЛІФУНКЦІОНАЛЬНИМ МОДИФІКАТОРОМ**

### **SELF-COMPACTING FINE-GRAINED ASH-CEMENT MIXES WITH A POLYFUNCTIONAL MODIFIER**

**Дворкін Л.Й., д.т.н., професор, ORCID: 0000-0001-8759-6318, Бордюженко О.М., к.т.н., доцент, ORCID: 0000-0003-3686-5121, Шостак С.П., аспірант (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)**

**Dvorkin L., doctor of technical sciences, professor, ORCID: 0000-0001-8759-6318, Bordiuzhenko O., candidate of technical sciences, associate professor, ORCID: 0000-0003-3686-5121, Shostak S., postgraduate (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)**

**Наведено результати досліджень властивостей самоущільнювальних дрібнозернистих золо-цементних сумішей з використанням поліфункціонального модифікатора. Показано, що при оптимальному складі та вмісті такого модифікатора, що включає в себе полівінілацетатну дисперсію, стає можливим суттєво покращити властивості самоущільнювальних бетонних сумішей.**

**The possibility of modifying self-compacting fine-grained concrete with polymer admixtures has been established. A polyfunctional modifier, including the polycarboxylate superplasticizer Melflux 2651f and polyvinyl acetate dispersion (PVAD), can reduce the water consumption of cement and cement-ash pastes by 13...19%.**

**It is noted that the addition of polyfunctional modifier changes the structure of cement and cement-ash stone, changing the parameters of its pore structure, causing an increase in the volume of closed pores, reducing the average pore size and increasing their uniformity.**

**Experimental-statistical models of water consumption, water separation, and air content of self-compacting fine-grained concretes with polyfunctional modifier admixtures were obtained, depending on the composition parameters. At a dosage of superplasticizer up to 1%, the water separation of self-compacting mixtures practically does not increase, and then tends to increase. The polyvinyl acetate admixture in the composition of the polyfunctional modifier provides a decrease in water separation over the entire interval of its content - up to 3%. The introduction of polyfunctional modifier provides a stable air entrainment of self-compacting concrete mixtures and helps to maintain their workability over time.**

**Ключові слова:**

Самоущільнювальний бетон, поліфункціональний модифікатор, полівінілацетатна дисперсія, водопотреба, водовідділення, повітрявтягування.

Self-compacting concrete, polyfunctional modifier, polyvinyl acetate dispersion, water consumption, water separation, air entrainment.

**Вступ. Аналіз досліджень.** Низька деформативність бетону і, особливо, його міцність при розтягу – є однією із головних причин його недостатньої тріщиностійкості. Підвищення міцності цементних бетонів і розчинів на розтяг і їх деформативності – один із головних наслідків застосування полімерних добавок в цементних системах [1-6].

Позитивний вплив полімерних добавок на порову систему цементного каменя обумовлює їх понижену проникність. При цьому закономірно, що бетон з добавкою ПВА проявляє меншу проникність і більшу стійкість при насиченні неполярними рідинами, а з добавками каучуків і інших неполярних полімерів, водою і іншими полярними рідинами. Цей висновок справедливий і у відношенні стійкості модифікованих бетонів і розчинів по відношенню до агресивної дії різних хімічних речовин [7].

Зниження пористості і наповнення пор полімерами, а також втягнутим повітрям призводить, як відмічає більшість дослідників [8, 9], до підвищення морозостійкості бетонів та розчинів. У роботі Намікі і Охама [10] наведені результати дослідження стійкості зразків модифікованих розчинів, вкладених на звичайний цементний розчин після 10-річної дії зовнішнього середовища в умовах Токіо. На відміну від зразків, зв'язаних з немодифікованим розчином і зруйнованих через рік після перебування у звичайних умовах, більшість зразків зв'язаних модифікованим розчином через 10 років мали задовільний стан в тих же умовах. Охама відмічає також [10], що більшість модифікованих розчинів має хорошу стійкість до карбонізації атмосферним CO<sub>2</sub>, що сприяє запобіганню корозії сталевій арматури.

Модифікуючи властивості затверділих бетонів і розчинів, добавки полімерів суттєво відбиваються на реологічних та технологічних властивостях цементних сумішей.

При низьких полімер-цементних відношеннях вододисперговані і водорозчинні полімери, як правило, мають пластифікуючу та повітровтягуючу дію [8]. Модифіковані цементні суміші вигідно відрізняються від звичайних підвищеною водоутримуючою здатністю, яка збільшується зі зростанням полімерцементного відношення [11].

В останні десятиліття в будівельну практику все ширше впроваджуються самоущільнювальні бетонні суміші, особливо ефективні для бетонування тонкостінних густоармованих конструкцій і влаштування наливних підлог. Для цих сумішей особливо ефективними є добавки, які, поряд з підвищенням пластичності та зниженням водопотреби, позитивно впливають на

водоутримуючу здатність, збереження їх легкоукладальності в часі і комплекс будівельно-технічних властивостей.

Аналіз наявної інформації щодо самоущільнювальних дрібнозернистих бетонів дозволяє припустити, що одним із ефективних шляхів покращення їх технічних властивостей є застосування поліфункціональних модифікаторів (ПФМ), що містять суперпластифікатори і полімери.

**Метою** роботи було дослідження властивостей самоущільнювальних дрібнозернистих золо-цементних бетонних сумішей з використанням ПФМ, що призначені для влаштування наливних підлог.

**Матеріали та методи досліджень.** В дослідженнях використовували портландцемент Здолбунівського «ВАТ Волинь-цемент» СЕМ І 42.5 R, з нормальною густиною 26,8%, золу-виносу Ладиженської ТЕС з питомою поверхнею 3100 см<sup>2</sup>/г і суміш кварцового піску двох фракцій 0,16...2 мм та 2...5 мм у співвідношенні 0,8:0,2 з модулем крупності 2,15 та водопотребою 8,5%. Витрата в'язучого (суміш цементу і золи у співвідношенні 0,7:0,3) складала 575 кг/м<sup>3</sup>.

Як компонент ПФМ використовували полівінілацетатну дисперсію (ПВАД) – водну емульсію термопластичного полярного полімеру ПВА. Композиція суперпластифікатор (СП) – ПВАД у бетонну суміш вводилась з водою затворення. В якості суперпластифікатора використовували добавку полікарбосилатного типу Melflux 2651f.

Витрату води доводили до значення розпливу дрібнозернистої бетонної суміші 550...600 мм (клас SF1 за EN 12350-8). При такому розпливі, як показали попередні досліди, осадка стандартного конуса складає 26...27 см.

Водовідділення бетонних сумішей визначали після їх відстоювання в циліндричній посудині за методикою ДСТУ Б В.2.7-114. Повітрявміст самоущільнювальних сумішей визначали об'ємним способом [12]. Зміну рухомості сумішей визначали за зануренням конуса Стройцніла при  $n = 2,5$ ,  $V/C = 0,6$  та температурі  $20 \pm 2^\circ \text{C}$ .

Для розрахунку складу бетону в кожній точці матриці приймали певний об'єм бетонної суміші, що відповідав об'єму замісу. Згідно умов планування експерименту знаходили об'єм заповнювача та в'язучого. Відповідно до прийнятого золо-цементного відношення знаходили об'єм цементу і золи. Витрату компонентів на 1 м<sup>3</sup> бетонної суміші знаходили з врахуванням їх густини.

**Експериментальні результати та їх аналіз.** Для вивчення впливу вмісту і складу ПФМ на зазначені вище властивості самоущільнювальних золо-цементних бетонних сумішей, були виконані алгоритмізовані експерименти відповідно до трьохрівневого трьохфакторного плану В<sub>3</sub> [13]. Умови планування експериментів приведені в табл. 1. Вихідними параметрами були водопотреба суміші, л/м<sup>3</sup>, водовідділення, % та повітрявтягування, %.

Таблиця 1

## Умови планування експерименту

№ з/п	Фактори	Кодоване значення	Рівні варіювання		
			-1	0	+1
1	Вміст ПФМ, % від маси в'язучого	$X_1$	0,5	1,75	3
2	Масова частка СП у складі ПФМ	$X_2$	0	0,5	1,0
3	Масове співвідношення піску і в'язучого	$X_3$	2	3	4

При аналізі отриманих рівнянь регресії (табл. 2) найбільш істотне зниження водопотреби має місце при переважанні в складі ПФМ суперпластифікатора Melflux 2651f (рис. 1). При цьому найбільш істотний вплив СП позначається вже при його дозуванні 0,5% від маси в'язучого. Загальне зменшення водопотреби при вмісті СП 3% склало близько 30%.

Таблиця 2

## Рівняння регресії для властивостей самоущільнювальних дрібнозернистих бетонних сумішей

№	Властивість	Рівняння регресії
1	Водопотреба, л/м <sup>3</sup>	$V = 183.3 - 16.3X_1 - 8.1X_2 + 30.2X_3 + 5.5X_1^2 + 5.5X_2^2 + 9.3X_3^2 - 6.9X_1X_2 - 7.3X_1X_3 - 6.7X_2X_3 \quad (1)$
2	Водовідділення, %	$V_d = 1.14 + 0.13X_1 + 0.41X_2 + 0.34X_3 - 0.02X_1^2 - 0.20X_2^2 - 0.02X_3^2 + 0.226X_1X_2 + 0.1X_1X_3 \quad (2)$
3	Повітрявтягування, %	$P_v = 1.9 + 0.13X_1 - 0.41X_2 + 0.31X_3 - 0.02X_1^2 - 0.280X_2^2 + 0.07X_3^2 - 0.21X_1X_2 + 0.096X_1X_3 - 0.08X_2X_3 \quad (3)$

Полівінілацетатну дисперсію (ПВАД) можна віднести в досліджуваній області полімерцементних відношень до порівняно слабких пластифікаторів. При дозуванні 0,5% вона викликає практично невідчутне зниження водопотреби, при 3% воно склало близько 7%. Водопотреба бетонних сумішей із ПФМ, що містять обидва компоненти, має проміжне значення, хоча при їх однаковому введенні за масою вона виявляється більш низькою чим це впливає з умови адитивності (рис. 1).

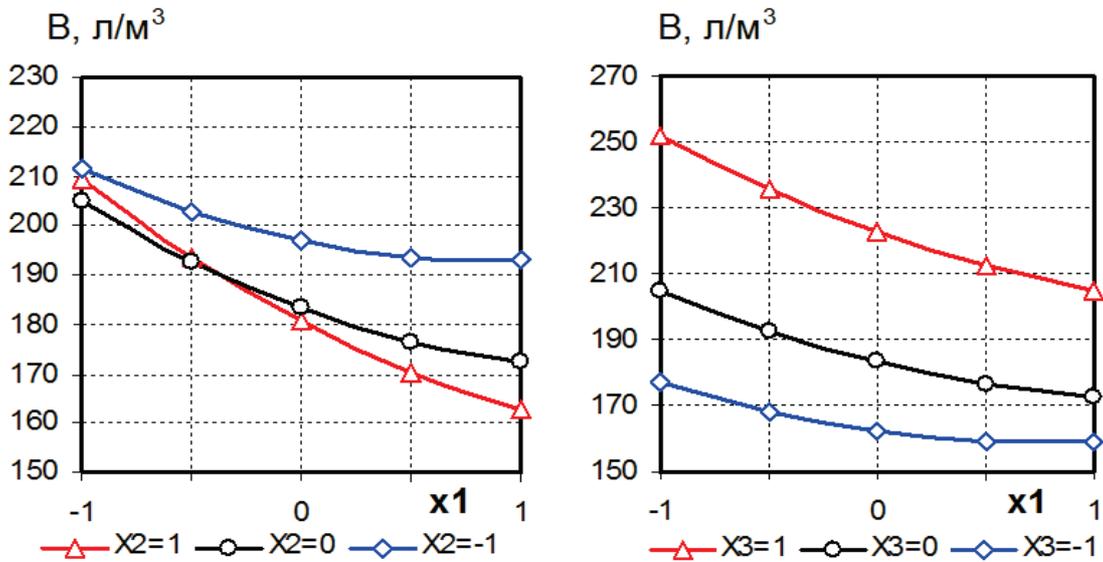


Рис. 1. Залежності водопотреби ( $\text{л/м}^3$ ) самоущільнювальних бетонів із добавкою ПФМ від досліджуваних факторів

Про вплив суперпластифікаторів на водовідділення бетонних сумішей, у т.ч. і дрібнозернистих, є суперечливі дані. Відзначається схильність таких сумішей з добавками СП до розшарування. У відповідності з нашими експериментальними даними при дозуванні СП до 1% водовідділення самоущільнювальних сумішей практично не збільшується, а потім має тенденцію до росту (рис. 2). У той же час ПВАД забезпечує зниження водовідділення у всьому інтервалі дозувань від 0,5 до 3%. Наявність у ПФМ обох компонентів призводить до того, що їх водовідділення забезпечується таким же як і без добавок (рис. 2). Це можна пояснити, головним чином, повітрявтягуючою здатністю досліджуваної полімерної добавки. Із збільшенням вмісту ПВАД від 0 до 3% у самоущільнювальні суміші втягується додатково більше 1% повітря і сумарний повітрявміст в них зростає до 2,5% (рис. 3).

Розрахункові криві повітрявтягування самоущільнювальних бетонних сумішей (рис. 3), отримані на основі відповідних рівнянь регресії, відображають відомий висновок [14], що в рухомих бетонних сумішах суперпластифікатори сприяють видаленню повітря. Спільне введення СП і ПВАД запобігає виникненню зазначеного вище негативного ефекту.

Для самоущільнювальних бетонних сумішей практичне значення має збереження рухомості сумішей у часі (т.зв. "життєздатність"). Результати дослідів приведені на рис. 4.

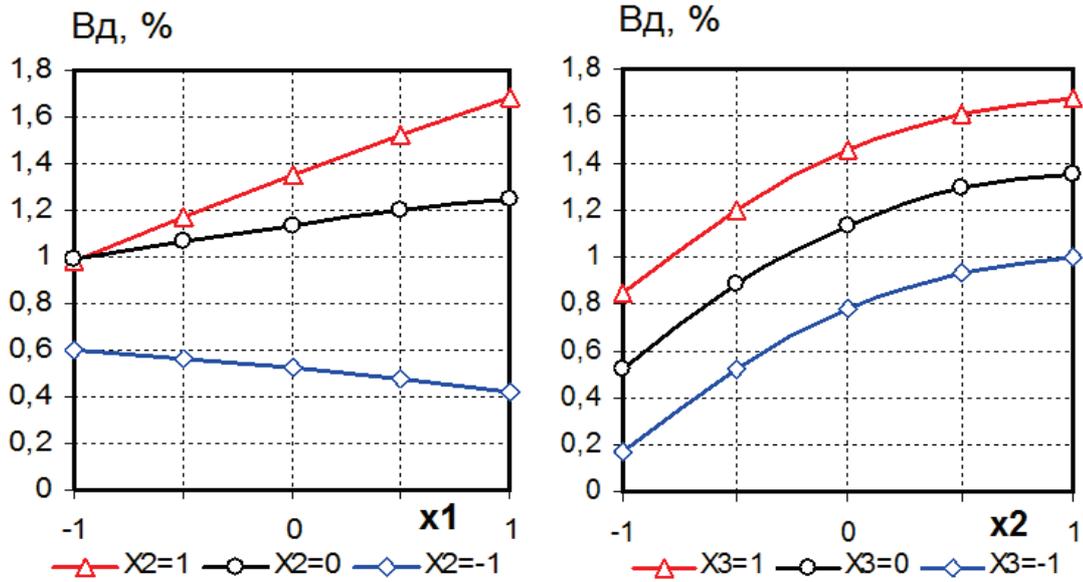


Рис. 2. Залежності водовідділення (%) самоущільнювальних бетонів із добавкою ПФМ від досліджуваних факторів

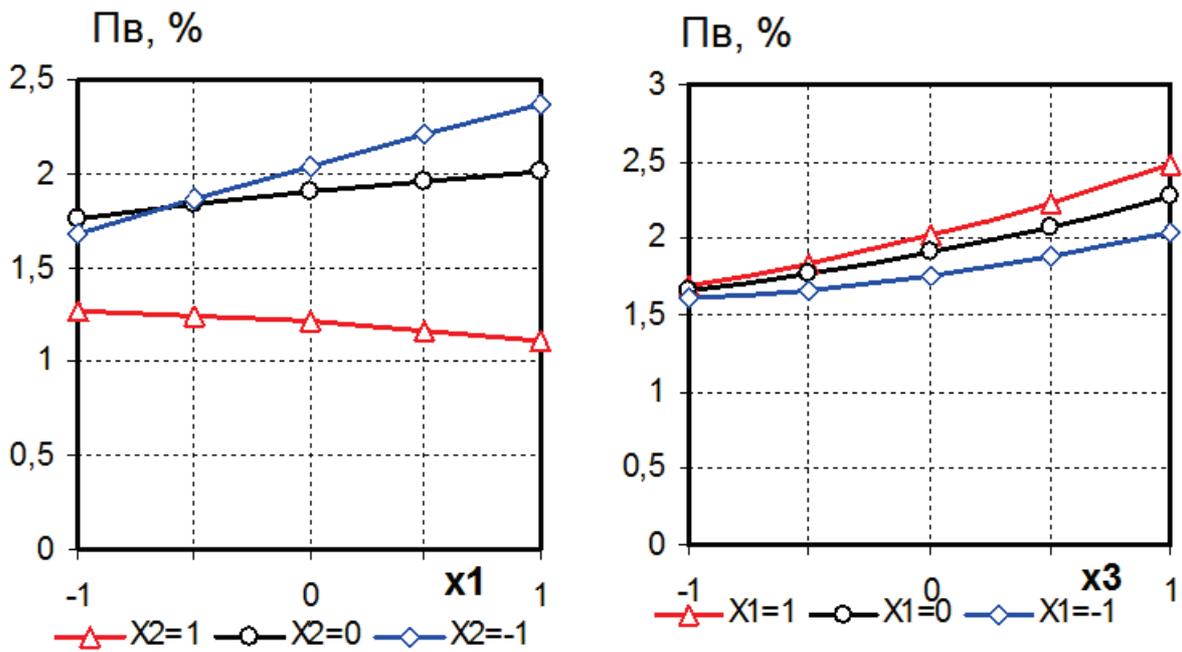


Рис. 3. Залежності повітрявтягування (%) самоущільнювальних бетонів із добавкою ПФМ від досліджуваних факторів

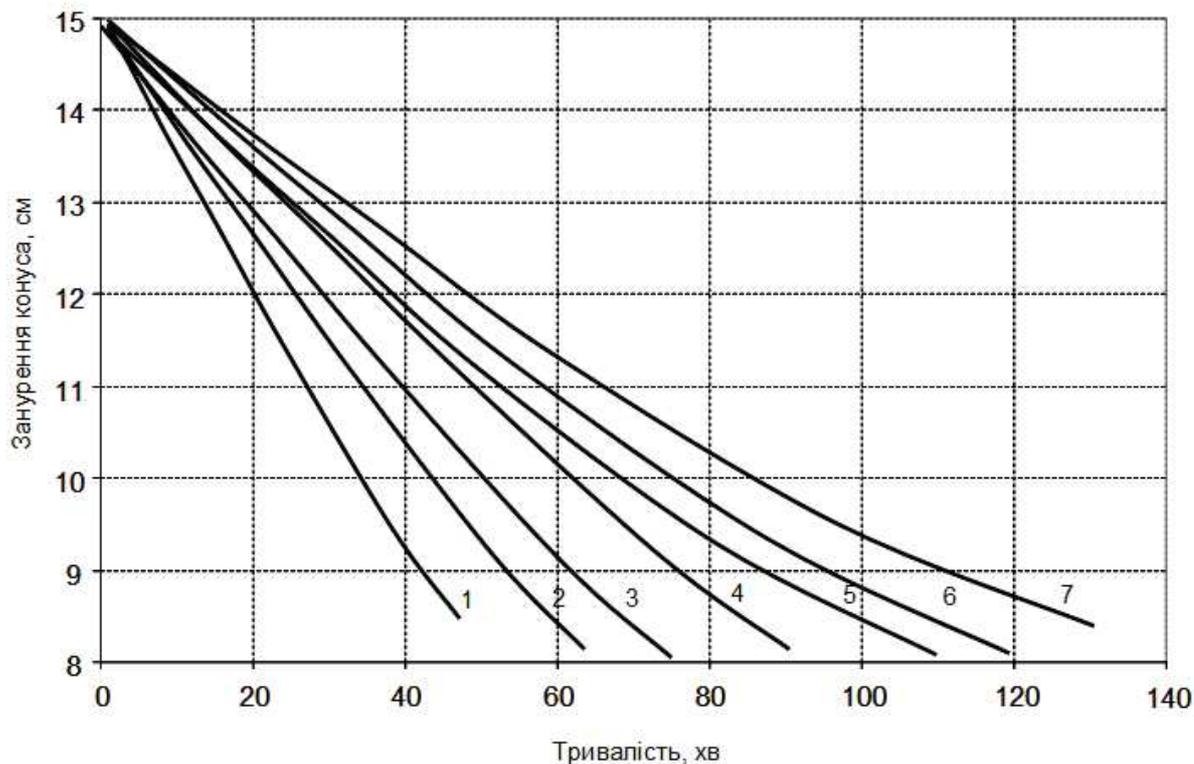


Рис. 4. Вплив добавки ПФМ на втрату рухомості самоупільнювальних бетонних сумішей:

1 – СП - 0.5% маси цементу; 2 – СП - 3%; 3 – СП - 0.25%;  
 ПВАД - 0.25%; 4 – без добавок; 5 – СП - 1.5%; ПВАД - 1.5%;  
 6 – ПВАД - 0.5%; 7 – ПВАД - 3%

Найбільш низький темп падіння рухомості мають суміші, у яких ПФМ представлений лише ПВАД, а найбільш високий – СП. Збільшення дози добавки сприяє деякій стабілізації рухомості. Подовжений період "життєздатності" самоупільнювальних сумішей із добавкою ПВАД можна пояснити сповільнюючим впливом останньої на строки тужавлення цементного тіста і менш інтенсивною кінетикою росту пластичної міцності.

## Висновки

1. Встановлено можливість модифікування самоупільнювальних дрібнозернистих бетонних сумішей полімерними добавками, що дозволяє покращити їх технічні властивості.

2. Поліфункціональний модифікатор (ПФМ), що включає полікарбоксилатний суперпластифікатор Melflux 2651f і полівінілацетатну дисперсію дозволяє зменшити водопотребу самоупільнювальних бетонів на 13...19%.

3. Використання ПФМ забезпечує зниження водовідділення бетонної суміші, сприяє збереженню рухомості в часі.

1. Саталкин А.В., Солнцева В.А., Панова О.С. Цементно-полимерные бетоны. М.: Стройиздат, 1971. 169 с.  
Satalkin A.V., Solntseva V.A., Panova O.S. Cement-polymer concretes. M.: Stroyizdat, 1971. 169 p.
2. Baydjanov D.O., Abdrakhmanova K.A., Kropachev P.A., Rakhimova G.M. Modified concrete for producing pile foundations. Magazine of Civil Engineering. 2019. 86(2). Pp. 3-10. DOI: 10.18720/MCE.86.1.
3. Ohama Y. Development of concrete-polymer materials in Japan. Proceedings of the Second international congress on polymers in concrete. Austin. 1978 P. 128–135.
4. Brachaczek W., Chlebos A., Giergiczny Z. Influence of Polymer Modifiers on Selected Properties and Microstructure of Cement Waterproofing Mortars. Materials. 2021, 14, 7558. DOI.org/10.3390/ma14247558.
5. Z. Su, J.M. Bijen, J.A. Larbi. Influence of polymer modification on the hydration of portland cement. Cement and Concrete Research. Volume 21, Issues 2–3, March–May 1991, Pages 242-250. DOI.org/10.1016/0008-8846(91)90004-2
6. Sih Wuri Andayani, Rochim Suratman, Iswandi Imran, Mardiyati. Polymer Modified Concrete of Blended Cement and Natural Latex Copolymer: Static and Dynamic Analysis / Open Journal of Civil Engineering. Vol.8, No.2, 2018. DOI: 10.4236/ojce.2018.82016.
7. Pshinko O.M., Krasniuk A.V., Klochko B.H., Hromova O.V., Palii V.V. Repair material modification by polymerous additives while transport repairing of buildings and engineering structures. Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport, (35), 2010. 145–149. DOI.org/10.15802/stp2010/8884.
8. Добавки в бетон / Рамачандран В. С., Фельдман Р. Ф., Коллепарди М. и др.; под ред. В.С. Рамачандрана. М. : Стройиздат, 1988. 575 с.  
Additives in concrete / Ramachandran V. S., Feldman R. F., Colleparidi M. and others; ed. V.S. Ramachandran. M. : Stroyizdat, 1988. 575 p.
9. Баженов Ю. М. Бетонополимеры. М.: Стройиздат, 1983. 472 с.  
Vazhenov Yu. M. Concrete polymers. M. Stroyizdat, 1983. 472 p.
10. Namiki M., Ohama Y. Plastics concrete in Japanese. Kyoto: Kobunshi – Kankokai. 1965. 210 p.
11. Соломатов В.И. Полимерцементные бетоны и пластбетоны. М. : Стройиздат, 1967. 184 с.  
Solomatov V.I. Polymer-cement concretes and plast concretes. M. Stroyizdat, 1967. 184 p.
12. ДСТУ Б В.2.7-114. Будівельні матеріали. Суміші бетонні. Методи випробувань. Київ, 2009.  
DSTU B V.2.7-214, Building Materials. Concrete mixtures. Test methods. Ukrainian National Standard. 2009, Kyiv.
13. L. Dvorkin, O. Dvorkin, Y. Ribakov. Multi-Parametric Concrete Compositions Design. Nova Science Publishers, New York. 2013. 223 p.
14. Litvan Y.Y. Air entrainment in the presence of superplasticizers. ACI. 1983. No 4. P. 326-331.