

УДК 666.974.6

## ВПЛИВ МІКРОКРЕМНЕЗЕМУ ТА МЕХАНОАКТИВАЦІЇ НА ЕФЕКТИВНУ В'ЯЗКІСТЬ ЦЕМЕНТНИХ СУСПЕНЗІЙ

Кандидати техн. наук Л.М. Ксьоншкевич, О.М. Крантовська, А.В. Даниленко

## ВЛИЯНИЕ МИКРОКРЕМНЕЗЕМА И МЕХАНОАКТИВАЦИИ НА ЭФФЕКТИВНУЮ ВЯЗКОСТЬ ЦЕМЕНТНЫХ СУСПЕНЗИЙ

Кандидаты техн. наук Л.Н. Ксёншкевич, Е.Н. Крантовская, А.В. Даниленко

## THE INFLUENCE OF MICROSILICA AND MECHANOACTIVATION ON EFFECTIVE VISCOSITY OF CEMENT SUSPENSIONS

Cand. of techn. sciences L. Ksenschkevich, E. Krantovskaya, A. Danilenko

*У статті розглядаються питання впливу режимів механоактивації, кількості мікрокремнезему та С-3 на зміну ефективної в'язкості суспензії в'язучого. Виявлено синергетичний ефект зниження в'язкості цементно-вмісних суспензій з додавкою мікрокремнезему при спільній дії на них швидкісного змішування і суперпластифікатора С-3. Проведений експеримент дозволив встановити оптимальні режими активації цементно-вмісних суспензій з органо-мінеральною добавкою, що забезпечує гранично-можливе руйнування початкової структури системи.*

**Ключові слова:** механоактивація, органо-мінеральна добавка, мікрокремнезем, портландцемент, ефективна в'язкість, швидкісне змішування, синергізм.

*В статье рассматриваются вопросы влияния режимов механоактивации, количества микрокремнезема и С-3 на смену эффективной вязкости суспензии вяжущего. Обнаружен синергетический эффект снижения вязкости цементно-содержащих суспензий с добавкой микрокремнезема при совместном действии на них скоростного смешения и суперпластификатора С-3. Проведенный эксперимент позволил установить оптимальные режимы активации цементно-содержащих суспензий с органо-минеральной добавкой, обеспечивающей предельно возможное разрушение начальной структуры системы.*

**Ключевые слова:** механоактивация, органо-минеральная добавка, микрокремнезем, портландцемент, эффективная вязкость, скоростное смешение, синергизм.

*The paper examines the influence of mechanical activation modes, the amount of microsilica and C-3 to replace the effective viscosity of the binder suspension. Discovered synergistic effect of reducing the viscosity of the cement suspensions with the addition of microsilica under the joint action on these high-speed mixing and C-3. The experiment has allowed to establish the optimal activation regimes cement suspensions with organomineral additive provides the maximum destruction of the primary structure of the system.*

**Keywords:** mechanoactivation, organomineral additive, microsilica, Portland cement, effective viscosity, high-speed mixing, synergy.

**Вступ.** Активні мінеральні добавки цілеспрямовано використовуються в портландцементних протягом багатьох десятиліть для поліпшення якості бетонних і залізобетонних виробів і конструкцій.

У сучасній технології бетону в якості модифікатора портландцементу широке розповсюдження отримав ультрадисперсний мікрокремнезем (МК), що складається зі

сферичних частинок аморфного кремнезему [1]. Розмір частинок МК не перевищує 0,01-0,1 мкм, що в десятки разів дрібніше від зерен портландцементу. При всіх своїх позитивних якостях ультрадисперсний розмір частинок МК призводить до збільшення водопотреби бетонної суміші, що вимагає введення в неї пластифікуючих добавок.

**Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими і практичними завданнями.** Нагальна необхідність отримання високомарочних бетонів на базі рядових цементів змушує шукати нові технологічні прийоми, використання ограно-мінеральних добавок (ОМД), зокрема мікрокремнезему (МК).

Нові можливості використання мікрокремнезему тісно пов'язані з прогресом у сфері розроблення ефективних суперпластифікаторів [2].

Механоактивація в'язучого в турбулентних потоках значно підсилює ефект від спільного введення в портландцемент мікрокремнезему і органічного модифікатора [3, 4]. Поєднання цих факторів дозволить отримати бетонні суміші з підвищеною легкоукладальністю, а бетони – високої міцності (від 60 до 150 МПа) і довговічності.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Роботами [5, 6] встановлено, що використання активних мінеральних добавок дає можливість економити портландцемент і отримувати бетони з заданими фізико-механічними характеристиками, а введення мікрокремнезему дає можливість регулювати процеси структуроутворення та призводить до підвищення міцності при стиску цементного каменю і бетону на його основі [7].

Посилюють роль мікрокремнезему у формуванні структури цементного каменю поверхнево-активні речовини. Роботами [8, 9] встановлено, що одночасне введення мікрокремнезему та поверхнево-активних речовин дозволяє різко підвищити міцність бетону.

Вдосконалення способів приготування бетонної суміші є істотним резервом підвищення міцності бетонів, у тому числі з застосуванням механоактивації в'язучих, що підтверджено роботами І.В. Барабаша [3, 10], С.І. Федоркіна [4], В.І. Соломатова [11] та ін.

**Визначення мети та задач досліджень.**

Мета – дослідити вплив режимів механоактивації, кількості мікрокремнезему і суперпластифікатора С-3 на зміну ефективної в'язкості суспензій в'язучого. Завдання досліджень – отримати синергетичний ефект зниження в'язкості цементно-вмісних суспензій з добавкою мікрокремнезему при спільній дії на них швидкісного змішування і суперпластифікатора С-3.

**Основна частина досліджень.** Відомо, що найбільш ефективний технологічний вплив на цементні суспензії мають ті, які дозволяють досягти граничного руйнування початкової структури системи, яка характеризується мінімальним показником її ефективної в'язкості [12]. Одним із шляхів виконання даного завдання є застосування інтенсивних гідродинамічних впливів на суспензії в'язучого у швидкісних змішувачах-активаторах.

Для цієї мети використовувався швидкісний трибозмішувач з кількістю обертів робочого органу змішувача 2800 об/хв.

Для приготування суспензії використовувався портландцемент активністю 48 МПа з питомою поверхнею  $S_{\text{пит}} = 400 \text{ м}^2/\text{кг}$  і мікрокремнезем у кількості до 10 % маси портландцементу. Для пластифікації суміші використовувався розріджувач С-3 в кількості від 0 до 1 % маси в'язучого. Час активації суспензії в експерименті варіювався від 0 до 120 с.

Ефективна в'язкість цементних суспензій визначалася за допомогою ротаційного вискозиметра з коаксіальними циліндрами.

Критерієм оцінки ефективності рецептурно-технологічних факторів цементно-вмісних суспензій був обраний коефіцієнт  $K$ , що визначається як відношення в'язкості, яку суспензія отримує в результаті:

- а) тільки застосування швидкісного змішування ( $K_{\text{ЗМ}}$ );
- б) тільки введення суперпластифікатора С-3 ( $K_{\text{ПАР}}$ );
- в) спільної дії на суспензію швидкісного змішування у присутності добавки С-3 ( $K_{\Sigma}^e$ ):

$$K_{\text{ЗМ}} = \frac{\eta_0}{\eta_{\text{ЗМ}}}; \quad (1)$$

$$K_{\text{ПАР}} = \frac{\eta_0}{\eta_{\text{ПАР}}}; \quad (2)$$

$$K_{\Sigma}^e = \frac{\eta_0}{\eta_{\text{ЗМ}+\text{ПАР}}}, \quad (3)$$

де  $\eta_0$  - ефективна в'язкість практично незруйнованої структури цементно-вмісної суспензії, сП;

## Будівельні матеріали, конструкції та споруди

$\eta_{зм}$  - ефективна в'язкість суспензії (С-3=0%) після швидкісного змішування, сП;

$\eta_{пар}$  - ефективна в'язкість суспензії (швидкісне змішування відсутнє) зі вмістом С-3=1%.

Встановлено, що введення в цемент МК призводить до збільшення ефективної в'язкості суспензії з 1520 сП (МК = 0 %) до 3868 сП (МК = 10 %), тобто більш ніж у 2,5 разу. Введення в суспензію суперпластифікатора С-3 (1 %) призводить до зниження ефективної в'язкості. Зокрема для цементної суспензії без добавки МК в'язкість знизилася з 1520 сП до

643 сП, тобто майже у 2,4 разу. Для цементної суспензії з вмістом МК = 10 % ефективна в'язкість суспензії при введенні 1 % С-3 знизилася з 3868 сП до 1780 сП. Результати досліджень ефективної в'язкості суспензій наведено в табл. 1.

Загальний аналіз експериментальних даних свідчить про вплив на ефективну в'язкість суспензії як часу швидкісного змішування, так і вмісту мікрокремнезему і суперпластифікатора С-3.

Таблиця 1

Вплив вмісту мікрокремнезему в портландцементі, концентрації С-3 і часу змішування на зміну ефективної в'язкості ( $\eta$ ) суспензії

№ п/п	Портланд-цемент, %	МК, %	С-3, %	Час швидкісного змішування суспензій, с				
				0	30	60	90	120
1	100	0	0	1520	780	580	618	621
2	98	2		1680	950	1010	1286	1339
3	96	4		3530	1842	1850	2006	2250
4	94	6		3760	2198	2391	2868	2880
5	92	8		3832	2855	3209	3311	3325
6	90	10		3868	3230	3405	3628	3720
7	100	0	0,25	961	178	234	324	492
8	98	2		984	182	247	320	408
9	96	4		1390	330	385	420	570
10	94	6		1550	700	820	970	990
11	92	8		2050	630	720	872	1116
12	90	10		2731	1470	1570	1941	2132
13	100	0	0,5	860	101	91	90	116
14	98	2		840	101	96	116	136
15	96	4		1170	95	86	99	115
16	94	6		1220	92	85	98	117
17	92	8		1807	157	134	158	199
18	90	10		2200	194	180	219	251
19	100	0	0,75	740	82	74	75	82
20	98	2		572	106	85	94	108
21	96	4		1150	179	82	127	110
22	94	6		1480	90	78	75	71
23	92	8		1220	112	94	105	128
24	90	10		1802	120	104	119	205
25	100	0	1,0	643	80	77	79	84
26	98	2		720	111	86	72	65
27	96	4		840	130	80	69	75
28	94	6		980	78	80	67	65
29	92	8		1190	104	81	89	74
30	90	10		1780	97	83	92	78

У результаті проведених досліджень виявлено значний синергетичний ефект зниження в'язкості цементних суспензій з добавкою мікрокремнезему при дії на них швидкісного змішування у присутності суперпластифікатора С-3.

Критерієм кількісної оцінки цього ефекту був прийнятий рівень синергізму ( $Y_c$ ), що визначається як відношення реального коефіцієнта зниження ефективної в'язкості ( $K_\Sigma^e$ ), отриманого експериментальним шляхом, до його розрахункового значення

( $K_\Sigma^p = K_{зм} \times K_{ПАР}$ ) з умови адитивності впливу цих факторів на зміну в'язкості:

$$Y_c = \frac{K_\Sigma^e}{K_\Sigma^p} \quad (4)$$

Встановлено, що рівень синергізму тим вище, чим більша концентрація МК в портландцементі (табл. 2).

Графічне відображення залежності впливу вмісту мікрокремнезему в портландцементі на  $Y_c$  наведено на рисунку (приводить до збільшення  $Y_c$  з 3,7 до 17,9, тобто майже в 5 раз).

Таблиця 2

Вплив кількості МК в портландцементі на зміну  $Y_c$

Концентрація мікрокремнезему, %	$K_{зм}$	$K_{ПАР}$	$K_\Sigma^p$	$K_\Sigma^e$	$Y_c$
0,0	2,46	2,36	5,8	21,7	3,7
2,0	2,00	2,87	5,74	24,3	4,23
4,0	1,86	3,06	5,69	51,8	9,1
6,0	1,56	3,05	4,76	57,1	12,0
8,0	1,34	2,59	3,47	51,8	14,9
10,0	1,2	2,17	2,6	46,6	17,9

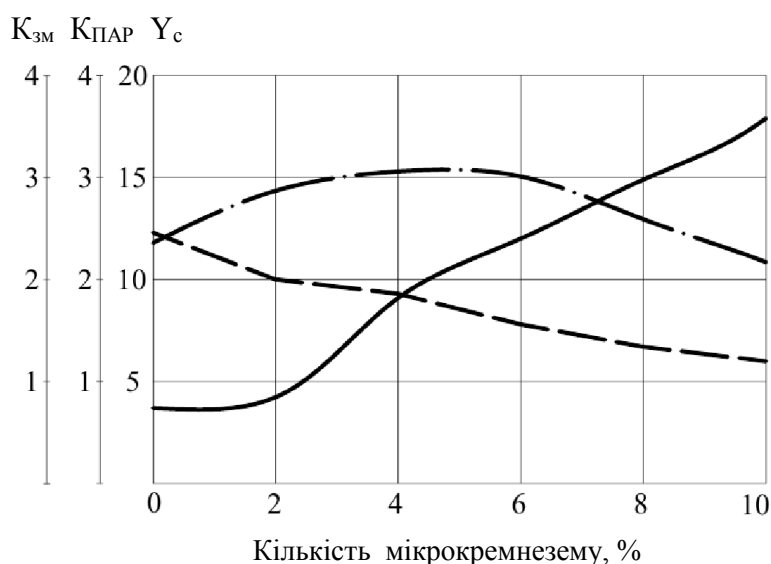


Рис. Вплив кількості мікрокремнезему на показники  $Y_c$ ,  $K_{зм}$ ,  $K_{ПАР}$  :

- - рівень синергізму  $Y_c$ ;
- - - - - коефіцієнт  $K_{зм}$ ;
- · - · - · - коефіцієнт  $K_{ПАР}$

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Встановлено, що механоактивація цементних суспензій у присутності розріджувача С-3 призводить до руйнування її структури, яке супроводжується значним зниженням ефективної в'язкості у 8-23 рази.

Введення мікрокремнезему в портландцемент призводить до збільшення ефективної

в'язкості суспензії. Необхідною умовою отримання рівнов'язких суспензій є введення суперпластифікатора С-3 в кількості 1 %.

Швидкісне змішування цементних суспензій з добавками мікрокремнезему до 10% у присутності С-3 призводить до різкого зниження ефективної в'язкості, що дозволить отримувати бетонні суміші з підвищеною легкоукладальністю.

#### *Список використаних джерел*

1. Каприелов, С.С. Влияние структуры цементного камня с добавками микрокремнезема и суперпластификатора на свойства бетона [Текст] / С.С. Каприелов, А.В. Шейнфельд, Ю.Р. Кривобородов // Бетон и железобетон. – 1992. – № 7. – С. 4-7.
2. Батраков, В.Г. Оценка ультрадисперсных отходов металлургических производств как добавок в бетон [Текст] / В.Г. Батраков, С.С. Каприелов, Ф.М. Иванов, А.В. Шейнфельд // Бетон и железобетон. – 1990. – № 12. – С. 15-17.
3. Барабаш, І.В. Механохімічна активація мінеральних в'язучих речовин [Текст]: навч. посібник / І.В. Барабаш. – Одеса: Астропрінт, 2002. – 100 с.
4. Федоркин, С.И. Механоактивация вторичного сырья в производстве строительных материалов [Текст] / С.И. Федоркин. – Симферополь: Таврия, 1997. – 180 с.
5. Баженов, Ю.М. Технология бетона [Текст] / Ю.М. Баженов. – М.: Изд-во АВС, 2003. – 500 с.
6. Рунова, Р.Ф. Формирование структуры высокопрочных бетонов [Текст] / Р.Ф. Рунова, И.И. Руденко, В.В. Троян [и др.] // Будівельні матеріали, виробу та санітарна техніка. – 2008. – №29. – С. 91-97.
7. Батраков, В.Г. Эффективность применения ультрадисперсных отходов ферросплавного производства [Текст] / В.Г. Батраков, С.С. Каприелов, А.В. Шейнфельд // Бетон и железобетон. – 1989. – №8. – С.24-25.
8. Миненко, Е.Ю. Усадка и усадочная трещиностойкость высокопрочных бетонов с органоминеральными модификаторами [Текст]: дисс... канд. техн. наук: 05.23.05 / Е.Ю. Миненко. – Пенза, 2004. – 157 с.
9. Барабаш, І.В. Механізми організації структури механоактивованих грубодисперсних систем [Текст] / І.В. Барабаш, В.Н. Выровой // в зб.: Композиційні матеріали для будівництва. – Макіївка: Вісник ДДАБА, 2000. – Вип. 2 (22). – С. 12-15.
10. Соломатов, В.И. Пути активации наполнителей композиционных материалов [Текст] / В.И. Соломатов, Л.И. Дворкин, С.М. Чудновский // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1987. – № 1. – С. 60-63.
11. Урьев, Н.Б. Коллоидные цементные растворы [Текст] / Н.Б. Урьев, И.С. Дубинин. – Л.: Стройиздат, Ленинградское отделение, 1980. – 192 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор В.Г. Суханов

Ксьоншкевич Любов Миколаївна, канд. техн. наук, доцент кафедри міського будівництва і господарства Одеської державної академії будівництва і архітектури. Тел.: (066)917-06-88. E-mail: wl-ksm@mail.ru.

Крантовська Олена Миколаївна, канд. техн. наук, доцент кафедри опору матеріалів Одеської державної академії будівництва і архітектури. Тел.: (066)047-45-10. E-mail: elena12122007@mail.ru.

Даниленко Анна Вілліянівна, канд. техн. наук, Одеська державна академія будівництва і архітектури. Тел.: (098)927-50-81. E-mail: danilenko\_a\_v@mail.ru.

Ksenschkevich L.N., Cand. Sc., Assistant Prof. Department of Urban Development and Municipal Engineering Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture. Tel.:(066)917-06-88. E-mail: wl-ksm@mail.ru.

Krantovskaya E.N., Cand. Sc., Assistant Prof. Department of Strength of Materials Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture. Tel.: (066) 047-45-10. E-mail: elena12122007@mail.ru.

Danilenko A.V., candidate of technical sciences, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture. Tel.: (098)927-50-81. E-mail: danilenko\_a\_v@mail.ru.

Стаття прийнята 27.10.2015 р.