



# ВИСОКОМІЦНІ СУЛЬФАТОСТІЙКІ БЕТОНИ, МОДИФІКОВАНІ АЛЮМОСИЛІКАТНИМИ ДОБАВКАМИ

УДК 666.97(075.8)

## АВТОР

**ПРИЙМАЧЕНКО А.С.** Директор МЦ Баухемі, аспірант Державного підприємства «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»

## АНОТАЦІЯ

*Наведено результати досліджень бетонів з комплексною активною мінеральною добавкою. Показана ефективність її застосування для отримання бетонів із спеціальними властивостями: корозійна стійкість, висока міцність, низькі деформації усадки та тепловиділення.*

*The research results of concretes with complex active mineral admixture are presented in paper. It performance for production of the concretes with special behavior (corrosion resistance, high strength, low shrinkage deformations and heat release) is shown there.*

## КЛЮЧОВІ СЛОВА

сульфатостійкі бетони, комплексна активна мінеральна добавка, деформації

Введення активних мінеральних добавок до складу бетону дозволяє зекономити портландцемент та отримувати спеціальні бетони, що мають незначне тепловиділення і застосовуються для масивних конструкцій, спеціальних корозійно- та жаростійких бетонів тощо. Крім того, такі активні мінеральні добавки широко використовуються при отриманні багатофункціональних бетонів, високоміцних та самоущільнюючих. Добавки також входять до складу ремонтних композицій, сухих будівельних сумішей тощо. Насьогодні проведено багато робіт українськими та закордонними вченими, що показали доцільність введення до складу бетону мінеральних наповнювачів, таких як мікрокремнезем [1], зола виносення [2, 3], метакаолін [4, 5]. В той же час сумісна дія цих добавок та пріоритетність їх вибору в складі комплексних активних мінеральних добавок (КАМД) багато в чому визначають ефективність виробництва і застосування матеріалів, але на жаль це питання вивчено не достатньо.

В роботі [6] були наведені результати досліджень по оптимізації складу активної мінеральної добавки в потрійній системі – кисла зола-виносу – метакаолін - мікрокремнезем. Встановлено, що застосування такої комплексної добавки дозволяє значно покращити не тільки міцнісні характеристики, але й значно підвищити корозійну стійкість бетону. Серед бінарних систем найбільшою ефективністю характеризується система, що містить 70...80% золи і 20...30% метакаоліну. Бетони з такою комплексною добавкою мають міцність на стиск до 60 МПа, водонепроникність до W10, F200. Після тверднення протягом року в розчині сіркової кислоти з рН=3,5 бетони підвищили міцність на 20...30%.

В табл. 1 наведено вихідний склад та склади бетону, модифіковані КАМД, фізико-механічні властивості яких були досліджені і порівняні між собою. В табл.2 наведено результати досліджень впливу КАМД на властивості бетонних сумішей.

Аналізуючи наведені дані в табл. 2, можна відмітити, що наявність суперпластифікатора в бетонних сумішах значно подовжила термін збереження рухли-



Таблиця 1.

вості, що відповідає відомим залежностям [2, 3]. Наявність суперпластифікатору з піногасником в бетонній суміші зменшує не тільки витрату води, але й кількість втягнутого повітря, що також сприяє підвищенню міцності бетону. Збільшення витрати суперпластифікатору найбільш ефективно для збереження життєздатності бетонної суміші при незначному вмісту КАМД. Із збільшенням вмісту КАМД або суперпластифікатору життєздатність суміші також збільшується. Це пояснюється тим, що КАМД менш активний компонент ніж цемент, а суперпластифікаторам притаманне збільшення життєздатності бетонних сумішей. В той же час сукупність КАМД з суперпластифікатором дуже ефективна для підвищення життєздатності бетонної суміші.

В табл. 3 наведено результати визначення міцності бетону з добавкою КАМД. Аналізуючи наведені дані в табл. 3, можна відмітити, що наявність суперпластифікатору в бетонній суміші спричинило не тільки значне підвищення міцності бетону, але й заміщення до 15% цементу. КАМД практично не призводить до зменшення міцності бетону. Це можна пояснити тим, що зменшення витрати води зближає частки цементу та КАМД між собою, і в результаті цього інтенсифікуються процеси взаємодії між цементом та КАМД.

Підвищення витрати суперпластифікатору в складах з однаковою кількістю КАМД незначно впливає на міцність бетону. Це свідчить про те, що оптимальна кількість витрати суперпластифікатору знаходиться в межах 1,8% від маси цементу. Введення КАМД в склад бетону з суперпластифікатором дещо уповільнює набір міцності бетону в ранні терміни. Такий темп набору міцності бетону доцільний при бетонуванні масивних конструкцій.

Тепловиділення бетонів визначали на бетонних зразках розміром 100x100x100 мм. Відразу після приготування бетонних сумішей складів, наведених в таблиці 4, починалися дослідження тепловиділення бетонів

№ п/п	Витрата компонентів на 1 м <sup>3</sup> бетону, кг									В/Ц	В/В	
	цемент СЕМ П/В-С, кг	пісок, кг		щебінь, фр.		КАМД		суперпластифікатор в перерахунку, %/кг, на				вода
		дніпровський	вознесенський	5-10	10-20	зола	мета-каолін	цемент	цемент+КАМД (В)			
1	360	286	358	269	896	30	10	1,8/6,48	1,62/6,48	137	0,38	0,34
2	360	286	358	269	896	30	10	2/7,2	1,8/7,2	130	0,36	0,33
3	340	286	358	269	896	45	15	1,8/6,12	1,53/6,12	135	0,4	0,34
4	340	286	358	269	896	45	15	2/7,2	1,8/7,2	117	0,34	0,29
5	300	286	358	269	896	75	25	1,8/5,4	1,35/5,4	135	0,45	0,34
6	300	286	358	269	896	75	25	2/7,2	1,8/7,2	116	0,39	0,29
7	270	286	358	282	941	75	25	1,8/4,86	1,22/4,86	132	0,49	0,36
8	260	286	358	269	896	105	35	1,8/4,68	1,17/4,68	139	0,53	0,35
9	260	286	358	269	896	105	35	2/7,2	1,8/7,2	98	0,38	0,25
10	220	286	358	269	896	135	45	1,8/3,96	1,0/3,96	145	0,66	0,36
11	220	286	358	269	896	135	45	2/7,2	1,8/7,2	109	0,5	0,27
12	400	269	358	269	896	-	-	0,9/3,6	-	139	0,35	-

Таблиця 2. Фізико-механічні властивості бетонних сумішей з КАМД із суперпластифікатором.

№ складу	Кількість втягнутого повітря, %	Осідання конуса, см, через, хв.			Середня густина бетонної суміші, т/м <sup>3</sup>	
		10	60	120	теоретична	фактична
1	1,5	16	16	5	2,369	2,315
2	1,3	20	20	18	2,351	2,45
3	2,4	19	19	19	2,344	2,33
4	1,1	19	18	18	2,342	2,47
5	1,9	17	17	7	2,344	2,345
6	0,7	20	20	18	2,325	2,49
7	2,8	18	18	18	2,369	2,315
8	1,9	17	17	7	2,344	2,345
9	1,0	18	18	17	2,307	2,46
10	4,4	20	20	19	2,354	2,19
11	1,0	20	19	19	2,318	2,46
12	1,3	18	18	4	2,331	2,40

Таблиця 3. Міцність при стиску бетонів сумішей з КАМД із суперпластифікатором

№ складу	Міцність при стиску бетону, МПа, при твердненні у воді, через, діб			
	3	7	14	28
1	26	39	42	75
2	50	63	69	76
3	37	54	61	75
4	39	61	70	75
5	45	57	65	70
6	43	56	69	70
7	26	40	45	55
8	45	57	65	50
9	27	42	51	53
10	27	29	32	47
11	33	37	47	50
12	52	63	72	76



Таблиця 4. Склади 1м<sup>3</sup> бетонів для визначення тепловиділення

№ п.п.	Цемент, кг	Вода, л	Зола, кг	Метакаолін, кг	PCE FK 63.30, %	Пісок Дніпр., кг	Пісок Вознес., кг	Щебінь, кг, фр.	
								5/10	10/20
Контр.	400	160	0	0	0,9	269	358	269	896
№1	270	132	80	20	2,2	286	358	282	941
№2	270	138	80	20	1,8	286	358	282	941
№3	340	135	45	15	1,8	286	358	269	896

напівдіабатичним методом по методиці [7].

Результати досліджень наведено на рис. 1. Аналізуючи дані, наведені на рис. 1, можна відмітити значно меншу температуру екзотермії бетонної суміші з комплексною алюмосилікатною добавкою (КАМД), ніж суміші контрольного складу. Так, при введенні 15% КАМД до складу бетону при витраті суперпластифікатору 1,8% (склад №3 таблиці 4), значення тепловиділення розробленої бетонної суміші майже на 10% менше, ніж тепловиділення контрольної.

При збільшенні кількості КАМД до 27% (склади 2 та 1 таблиці 4) і суперпластифікатору (склад 1 таблиці 4), зменшення тепловиділення відповідно складає 7 та 15%. Аналіз цих даних показує, що найбільший вклад в зниження інтенсивності тепловиділення вносить витрата суперпластифікатору.

Такий позитивний ефект щодо зменшення тепловиділення у часі дозволяє рекомендувати склади бетонів для експлуатації не тільки в агресивних середовищах, але й для бетонування масивних конструкцій.

Отримані позитивні результати щодо низького тепловиділення розробленого складу бетонної суміші були доповнені дослідженнями деформацій усадки бетону в часі.

Деформації усадки визначали за методикою [8] на зразках розміром 40x40x160мм з дрібнозернистого бетону із суміші однакової рухливості. Дрібнозернисті бетони мали наступні склади: №1= 1ч. цементу:3ч. піску, В/Ц=0,41; №2 = (0,75ч. цементу + 0,25КАМД):3ч. піску, 1,8% PCE FK 63.30, В/Ц= 0,43

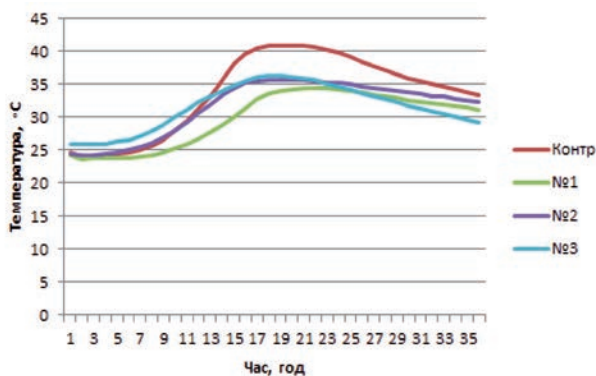


Рис. 1. Тепловиділення бетонів в ранні терміни тверднення кр.1 – бетон складу №1 (табл. 4), кр.2- бетон складу №2 (табл. 4), кр.3 – бетон складу №3 (табл.3.10) контр. – бетон без КАМД (табл.4).

(В/В=0,33); №3= 1ч. цементу + 3ч. піску, 1,8% PCE FK 63.30, В/Ц=0,33. Тривалість випробувань – 3міс. Умови зберігання волого-сухі, при вологості повітря 75% і температурі 20 °С. Результати досліджень наведені на рис. 2.

Аналізуючи отримані дані можна відмітити, що наявність запропонованої комплексної добавки КАМД разом із суперпластифікатором позитивно впливає на зменшення деформативних характеристик дослідженого бетону по відношенню до бетону контрольного складу. Склади дрібнозернист-

тих бетонів з КАМД можна віднести до мало усадкових. Це пояснюється особливостями формування таких композицій. В роботі [9] за допомогою комплексу фізико-хімічних досліджень було встановлено, що при твердінні цементного каменю з добавкою КАМД утворюється значна кількість гідратних сполук, що може бути віднесена до ряду твердих розчинів гідроалюмосилікатного складу:  $C_2ASH-CAS_2H$ , а саме можливо утворення:  $2CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot H_2O$ ;  $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 4H_2O$ ;  $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ . Такі сполуки кристалізуються у вигляді витягнутих призм. Така їх форма дозволяє сприймати усадкові деформації цементного каменю та зменшувати їх.

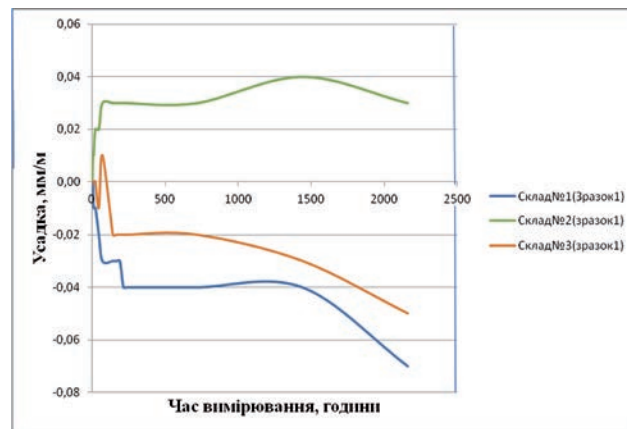


Рис. 2. Розвиток деформацій усадки дрібнозернистого бетону з добавкою і без КАМД.

## ВИСНОВКИ

- Для підвищення корозійної стійкості бетону в розчині сульфатної кислоти розроблена комплексна активна мінеральна добавка, що складається з 75% золи та 25% метакаоліну. Застосування такої добавки дозволяє отримувати на цементі типу СЕМ П/В-S (ПЦІІ/А-Ш-400 ДСТУ Б В. 2.7-46) бетони з міцністю на стиск до 60 МПа, після тверднення протягом року в розчині кислоти з рН=3,5 бетони підвищили міцність на 20...30%.
- Комплексом фізико-хімічних методів досліджень встановлено, що наявність в складі бетону комплексної активної мінеральної добавки призводить до особливостей формування це-





менту – утворенням в твердіючому цементно-му камені з добавкою КАМД значної кількості новоутворень ряду твердих розчинів гідроалюмосилікатного складу, що представлені твердими розчинами  $C_2ASH-CAS_2H$  (гідрогеленіту –гідроанортиту), а саме можливо утворення:  $2CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot H_2O$ ;  $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2 \cdot SiO_2 \cdot 4H_2O$ ;  $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2 \cdot H_2O$ . Наявність таких новоутворень пояснює високу корозійну стійкість бетонів.

3. Особливості фазового складу твердіючого цементу в бетоні з добавкою КАМД призводять до отримання бетонів з пониженим тепловиділенням на 7...15% по відношенню до еталонних складів та формуванням малоусадних бетонів, що дозволяє їх рекомендувати для застосування не тільки в конструкціях, що експлуатуються в агресивних середовищах, але й в масивних із незначними деформаціями усадки.

рення корозійностійких цементних композицій / Приймаченко А.С., Шейніч Л.О., Пушкарьова К.К. // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса. - Вип. 60, 2015. - С. 209-211.

## REFERENCES

1. Construction materials. Concrete mixtures and concrete. General technical specification (EN 206-1:2000, NEQ): DSTU B V.2.7-176:2008. – [Valid from 2010-04-01]. - Kyiv, Ukrarkhbudinform, 2010, VIII, 64 p. - (National Standard of Ukraine, in Ukrainian).
2. Sheinich, L.A., Popruga, P.V. High performance concretes for monolithic house building. Budivelni konstruktсии [Building structures]: Collection of the scient. papers. - Kyiv, SE NIISK, 2005, no 63, p. 95-99 (in Ukrainian).
3. Pushkarjova, K.K., Gonchar, O.A., Pavlyuk, V.V. Effective modifications of ash-filled composite cements with plasticizing additions with different action mechanism. Trudy IV Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konf. "Proizvodstvo i primenenie kompozitsionnyh materialov stroitelnoy himii" [Proc. of 4-th International conference "Production and application of the composite materials of construction chemistry"]. - Kyiv, 2007, p. 63-68. (In Russian).
4. Pushkarjova, K.K., Gonchar, O.A., Pavlyuk, V.V., Pavlyuk, I.M. Composite cements on base of ash-cement-sulphate mixtures modified by meta-kaolin admixture. Visnyk Odesky derzhavnoy akademii budivnytstva i arhitektury [Herald of Odessa State Academy of Construction and Architecture]. – Odessa: Even, 2004, p. 238-243. (In Ukrainian).
5. Dvorkin, L.J., Lushnikova, N.V., Runova, R.F. etc. Metakaolin v budivelnih rozchynah i betonah [Metakaolin in construction solutions and concretes]. - Kyiv, KNUBA, 2007, 216 p.
6. Prymachenko, A.S., Sheinich, L.A., Pushkarjova, K.K. etc. Influence of complex active mineral admixture with different mix on concrete strength. Resursoekonomni materialy, konstruktсии ta sporudy [Resources economy materials, buildings and constructions]. - Rivne, v. 26, 2013, p. 126-128. (In Ukrainian).
7. Cements. Methods for determination of hydration heat (EN 196-9:2010, MOD): DSTU B V.2.7-289:2011. - [Valid from 2013-01-01]. - Kyiv, Ukrarkhbudinform, 2012, V, 26 p. - (National Standard of Ukraine, in Ukrainian).
8. Volkonskiy, B.V., Makashev, S.D., Shteyert, N.P. Tehnologicheskie fiziko-mehaniicheskie i fiziko-himicheskie issledovaniya tsementnyh mineralov [Technological physical-mechanical and physical-chemical researches of cement minerals]. Leningrad, Izd. Literatury po stroitelstvu, 1972, 305 p. (In Russia).
9. Prymachenko, A.S., Sheinich, L.A., Pushkarjova, K.K. Influence of complex aluminum-silicate admixture on processes of cement compositions corrosion resistance. Visnyk Odesky derzhavnoy akademii budivnytstva i arhitektury [Herald of Odessa State Academy of Construction and Architecture]. - Odessa, v. 60, 2015, p. 209-211. (In Ukrainian).

## ЛІТЕРАТУРА

1. Будівельні матеріали. Суміші бетонні та бетон. Загальні технічні умови (EN 206-1:2000, NEQ): ДСТУ Б В.2.7-176:2008. – [Чинний від 2010-04-01]. – К.: Укрархбудінформ, 2010. – VIII, - 64 с. – (Національний стандарт України).
2. Шейніч Л.А. Высокопрочные бетоны для монолитного домостроения / Шейніч Л.А., Попруга П.В. // Будівельні конструкції: зб. наук. праць. - К.: ДП НДІБК. - Вип. 63, 2005. - С.95-99.
3. Пушкарьова К.К. Эффективность модификации золонаполненных композиционных цементов пластифицирующими добавками разного механизма дии / Пушкарьова К.К., Гончар О.А., Павлюк В.В. // Производство и применение композиционных материалов строительной химии: IV Межд. научно-техн. конф. - К., 2007. - С. 63-68.
4. Композиційні цементы на основі зоцементно-сульфатних сумішей, модифікованих добавкою метакаоліну / [Пушкарьова К.К., Гончар О.А., Павлюк В.В., Павлюк І.М.] // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. - Одеса: МПП "Евен", 2004. - С. 238-243.
5. Метакаолін в будівельних розчинах і бетонах / [Дворкін Л.Й., Лушнікова Н.В., Рунова Р.Ф., Троян В.В.]. - К.: КНУБА, 2007. - 216 с.
6. Вплив комплексної активної мінеральної добавки різного складу на міцність бетону / [Приймаченко А.С., Шейніч Л.О., Пушкарьова К.К., Гедулян С.І.] // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. - Рівне. - Вип. 26, 2013. - С.126-128.
7. Цементи. Методи визначення теплоти гідратації (EN 196-9:2010, MOD): ДСТУ Б В.2.7-289:2011. – [Чинний від 2013-01-01]. – К.: Укрархбудінформ, 2012. – V, 26 с. – (Національний стандарт України).
8. Волконский Б.В. Технологические физико-механические и физико-химические исследования цементных минералов / Волконский Б.В., Макашев С.Д., Штейерт Н.П. – Л.: Издво литературы по строительству, 1972. – 305 с.
9. Приймаченко А.С. Вплив комплексної алюмосилікатної добавки на процеси структуроутво-