

**УДК 691:66-96**

**КОМПОЗИЦІЙНІ ЦЕМЕНТИ НИЗЬКОЇ ВОДОПОТРЕБИ ІЗ  
ЗАСТОСУВАННЯМ ДИСПЕРСНИХ ТЕХНОГЕННИХ ПРОДУКТІВ**

**КОМПОЗИЦИОННЫЕ ЦЕМЕНТЫ НИЗКОЙ ВОДОПОТРЕБНОСТИ С  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИСПЕРСНЫХ ТЕХНОГЕННЫХ ПРОДУКТОВ**

**COMPOSITIONAL LOW WATER DEMAND CEMENTS CONTAINING  
PULVERULENT WASTE PRODUCTS**

**Гарницький Ю.В., к.т.н., доцент, Марчук В.В., аспірант, Науменко Ю.В., д.т.н., проф.** (Національний університет водного господарства та природокористування, м.Рівне)

**Гарницкий Ю.В., к.т.н., доцент, Марчук В.В., аспірант, Науменко Ю.В., д.т.н., проф.** (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г.Ровно)

**Harnitskyi Y. V., candidate of sciences, associate professor, Marchuk V.V., aspirant, Naumenko Y.V., doctor of sciences, professor** (National University of Water Management and Nature Resources, Rivne)

**Наведені результати експериментальних дослідження цементів низької водопотреби (ЦНВ), які містять золу-виносу ТЕС та пил виносу клінкеровипалювальних печей.**

**Приведены результаты экспериментальных исследований цементов низкой водопотребности (ЦНВ), содержащих золу-унос ТЭС и пыль уноса печей для обжига клинкера.**

**The paper gives coverage on results of experimental research of low water demand cements containing pulverulent waste products.**

**Ключові слова:**

цемент, зола-виносу, шлак, суперпластифікатор;  
цемент, зола-унос, шлак, суперпластифікатор;  
cement, fly-ash, slag, superplasticizer.

У світовій практиці виробництва бетонних та залізобетонних конструкцій намітилась чітка тенденція до все більш широкого застосування [1,2] композиційних модифікованих цементів. Застосування таких цементів за рахунок заміщення в них значної частини портландцементного клінкеру

мінеральними добавками приводить до суттєвого енергозбереження, а також позитивного екологічного ефекту за рахунок зменшення обсягу шкідливих викидів у цементному виробництві. Модифікування композиційних цементів добавками, в першу чергу суперпластифікаторів, дозволяє в широкому діапазоні регулювати їхні властивості і властивості бетонів.

До ефективних напрямків отримання бетонів нового покоління відноситься застосування композиційних цементів низької водопотреби (ЦНВ) [2,3]. Технологія таких цементів передбачає інтенсивну механохімічну обробку в процесі сумісного помелу портландцементу з мінеральною добавкою в присутності порошкоподібного суперпластифікатору.

Для отримання ЦНВ можна застосовувати різні види мінеральних добавок як таких, які мають пуцоланову або гідралічну активність, так і інертних. Враховуючи, що найбільш енергоємною операцією при отриманні ЦНВ є помел, економічно доцільно використовувати для їх виробництва активні мінеральні добавки, що мають високу дисперсність.

Метою даної роботи була оцінка кінетики помелу ЦНВ, які містять дисперсні мінеральні добавки і різні типи ПАР, а також дослідження впливу дисперсності отриманого в'язучого на його міцність. Розглядалися цементні низької водопотреби з застосуванням золи-виносу Бурштинської ТЕС і пилу виносу клінкеровипалювальних печей ПАТ "Волинь-цемент". Додатково вводився доменний гранульований шлак Криворізького комбінату для компенсації можливого негативного впливу лугів у цементному пилі та деякого підвищення ранньої міцності золовмісних в'язучих.

Питому поверхню ЦНВ визначали методом повітропроникності на приладі Блейна згідно з ДСТУ Б В.2.7-188:2009, нормальну густоту - згідно з ДСТУ Б В.2.7-185:2009. Міцність на стиск і згин визначали на зразках-балочках 40x40x160мм згідно з ДСТУ Б В.2.7-187:2009 при співвідношенні в'язуче : пісок = 1:3. Водов'язуче відношення підбирали таким чином, щоб розплив розчину на струшуючому столику становив не менше 106 мм.

Питома поверхня портландцементу без додаткового помелу складає 280...320 м<sup>2</sup>/кг. Дисперсність золи залежить від тонкості помелу пиловидного палива і зазвичай при вловлюванні її електрофільтрами наближається до питомої поверхні портландцементу 250...300 м<sup>2</sup>/кг. В цих самих межах знаходиться питома поверхня і більшої частини [2] пилу-виносу клінкеровипалювальних печей. Отримання цементів низької водопотреби можна здійснювати як помелом клінкеру, так і домелом рядового портландцементу з відповідними мінеральними добавками в присутності добавок суперпластифікатора. Другий спосіб є більш технологічним. До того ж його доцільно застосовувати для підвищення активності низькомарочних і лежаліх цементів. Тому у наших дослідженнях ЦНВ виготовляли домелом лежалого портландцементу з початковою активністю близько 30 МПа з додаванням золи чи пилу виносу і ПАР – суперпластифікаторів і інтенсифікаторів помелу.

Встановлено, що введення суперпластифікатора позитивно впливає на кінетику помелу золовмісного ЦНВ (рис.1) скорочуючи при цьому його тривалість, що відповідає відомим даним [2..4]. Однак для підвищення питомої поверхні і зниження енергозатрат раціональніше використовувати інтенсифікатори помелу, зокрема пропіленгліколи. При додатковому помелі в лабораторному кульовому млині потягом одної години питома поверхня в'язучого збільшується до 430...480 м<sup>2</sup>/кг, потягом двох годин - до 540...570 м<sup>2</sup>/кг, а у випадку введення добавки інтенсифікатора помелу у кількості 0,04% становить 580...620 м<sup>2</sup>/кг. При тривалості помелу три години з використанням інтенсифікатора отримання питома поверхня в'язучого 740...760 м<sup>2</sup>/кг, без використання інтенсифікатора - 600...680 м<sup>2</sup>/кг. Подальше збільшення часу помелу у лабораторних умовах до 4-х годин суттєво не збільшує питому поверхню, що підтверджує відомі дані [2, 4]. Залежність питомої поверхні від виду і кількості добавки суперпластифікатора та тривалості помелу наведена на рис. 1.

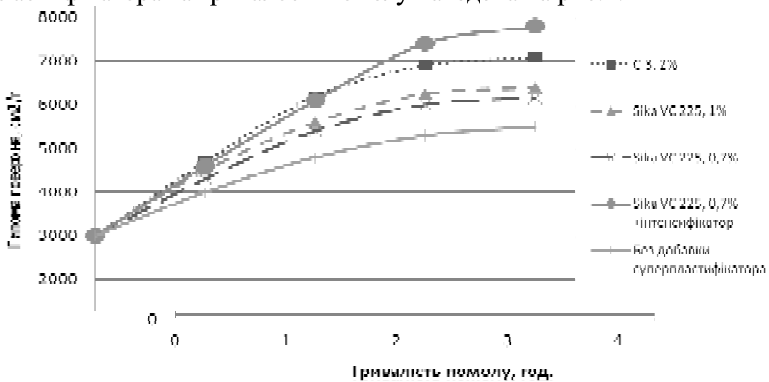


Рис. 1. Залежність питомої поверхні від виду і кількості добавки суперпластифікатора та тривалості помелу

Дослідження кінетики помелу цементопилошлакових в'язучих в кульовому млині також показали (рис.2), що добавки - суперпластифікатори нафталіноформальдегідного (С-3) і полікарбоксилатного типів (Sika VC 225) завдяки певному адсорбційному ефекту інтенсифікують помел і попереджають агрегацію тонких зерен під час помелу.

Додатковий ефект інтенсифікації помелу досягається введенням добавки пропіленгліколей в кількості 0,03...0,04 % від маси композиційних в'язучих. Помел у вібромліні дозволяє отримувати в'язучі з питомою поверхнею 450...550 м<sup>2</sup>/кг приблизно в 2 рази швидше ніж в кульовому. При цьому інтенсифікуючий ефект органічних добавок зберігається.

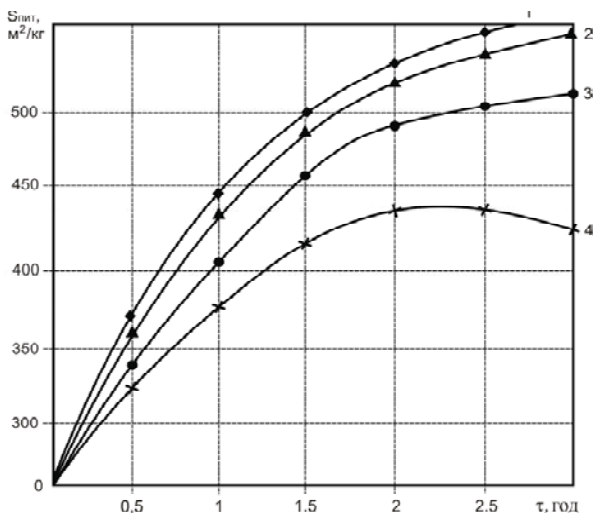


Рис. 2. Кінетика помелу цементно-пілошлакових в'язучих з добавками С-3 і пропіленгліколей: 1 - 0,04 % пропіленгліколей + 1 % С-3; 2 - 0,04 % пропіленгліколей; 3 - 1 % С-3; 4 - без добавок

Вид і вміст добавки суперпластифікатора та дисперсність отриманого в'язучого суттєво впливають на його нормальну густоту (НГ) та міцність, про що свідчать дані табл. 1.

Таблиця 1

Властивості золовмісних ЦНВ

№	Суперпластифікатор		Питома поверхня, м <sup>2</sup> /кг	НГ, %	Міцність на згин, МПа, у віці, діб			Міцність на стиск, МПа, у віці, діб		
	Назва і витрата	Тип			2	7	28	2	7	28
1	- <sup>1)</sup>	-	285	26	4	7,4	7,9	11,4	20,3	29,4
2	- <sup>2)</sup>	-	520	26,5	4,7	6,1	7,5	13,2	28,3	41,8
3	SP3, 1% <sup>2)</sup>	АК	535	20,5	3,6	5,7	6,9	12,5	25,2	42,3
4	-	-	285	29	2,1	4,1	6,5	8,6	18,7	45
5	SP3, 1%	АК	315	22,5	1,8	4,2	6,2	7,6	19,2	47,5
6	-	-	520	27	4,4	6,6	8	12,3	25	43,1
7	SP3, 1%	АК	540	22,5	4,7	6,5	7,9	12	29,3	47,6
8	SP3 2 %		535	20,5	3,5	6,2	6,9	11,3	25,0	43,4
9	С-3, 1%	НФ	560	22,5	4,4	6,7	7,2	19,2	31	45
10	С-3, 2%		570	21	2,7	6,5	9,2	12,6	30,8	45,1

№	Суперпластифікатор		Питома поверхня, м <sup>2</sup> /кг	НГ, %	Міцність на згин, МПа, у віці, діб			Міцність на стиск, МПа, у віці, діб		
	Назва і витрата	Тип			2	7	28	2	7	28
11	SikaVC 1%	ПК	548	17	6,1	8,1	10	24,4	44,3	61
12	SikaVC, 0,7%		540	19	6,3	8,6	10,8	24	48	65
13	SikaVC, 0,7%		728	19,5	6,4	8,2	9,5	24,4	35	64
14	SikaVC, 0,7% <sup>3)</sup>		645	19,5	6,4	9,3	11,3	26	52	70
15	SikaVC, 0,35%		558	22	5,8	7,9	10	20	38	63
16	SikaVC, 0,7% <sup>3)</sup>		759	20,5	6,9	8,5	9,5	30	45	70
17	SikaVC, 0,35%		525	22,5	5,2	6,8	8	25	30	58

Примітки:

1. Контрольна точка, для визначення активності ПЦ;
2. У якості наповнювача – кварцовий пісок;
3. З добавкою інтенсифікатора помелу (пропіленгліколь).
4. Позначення типу суперпластифікатора: АК – акрилатний, НФ – нафталінформальдегідний, ПК - полікарбоксилатний

Залежності міцності золівмісного ВНВ на стиск і згин від питомої поверхні наведені на рис. 3.

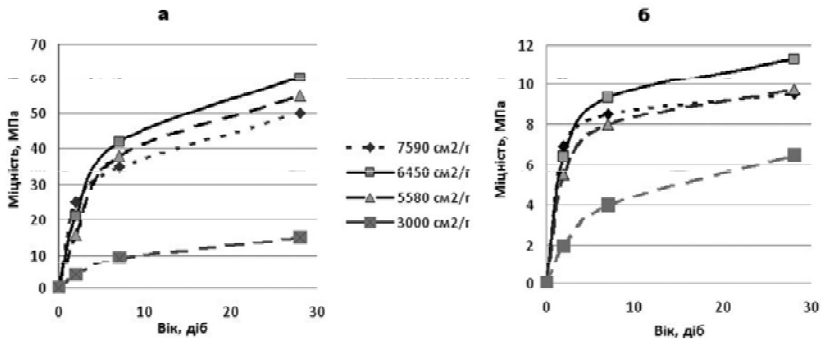


Рис. 3. Залежність міцності на стиск (а) та згин (б) від питомої поверхні

Аналізуючи графіки, приходимо до висновку, що збільшення питомої поверхні понад 500 м<sup>2</sup>/кг призводить до збільшення міцності на стиск і згин в усі терміни твердіння. Однак при питомій поверхні близько 700 м<sup>2</sup>/кг спостерігається в основному збільшення ранньої міцності, що підтверджує дані роботи [6], але у віці 28 діб міцність практично не зростає. Тому висока дисперсність в'язучого доцільна у випадках, коли необхідно забезпечити високу ранню міцність. Підвищена дисперсність ВНВ у віці 28 діб краще

проявляється на його активності ніж на міцності на згин, а у ранньому віці навпаки.

При проведенні дослідів було встановлено, що найвищу міцність в'язучого на стиск та згин отримали при використанні суперпластифікатора полікарбоксилатного типу Sika ViscoCrete 225. Це можна пояснити тим, що даний суперпластифікатор має найвищу водоредукуючу здатність, яка позначається на зменшенні НГ і  $V/V_{в'яз}$  відношення. Зокрема при вмісті суперпластифікатора 0,35% від маси в'язучого НГ знижується з 27% до 22,5%, а водов'язуче відношення – з 0,42 до 0,33. Збільшення вмісту суперпластифікатора до 1 % призводить до зниження НГ до 17%, а  $V/V_{в'яз}$  до 0,23. Таким чином, оптимальним можна вважати вміст суперпластифікатора у в'язучому 0,7%. Так, зміна вмісту суперпластифікатора від 0,35 до 0,7% активність в'язучого збільшується у 2...2,2 рази в усі терміни твердіння. Подальше збільшення кількості добавки недоцільне, тому що міцність практично не зростає. Міцність на згин суттєво не залежить від витрати суперпластифікатора, і зростає лише на 25...40% при збільшенні витрати СП від 0,35% до 1%.

**Висновок.** Ефективним напрямком розвитку технології бетонів нового покоління є використання композиційних цементів низької водопотреби. Виробництво таких цементів в Україні може бути організовано на існуючих заводах з використанням ефективних видів млинів. Це, зокрема, сепараторні млини, які працюють в замкнутому циклі і дозволяють отримати необхідну дисперсність, а також на спеціальні помольні установки, де можливий домел товарного портландцементу разом з мінеральними добавками з введенням добавок суперпластифікаторів. В якості мінеральних добавок перспективно застосування в першу чергу техногенну сировину - шлаків, золи, пилу-виносу клінкеровипалюваних печей. Організації виробництва цементів низької водопотреби сприяє інтенсивний розвиток ринку супер- і гіперпластифікаторів та різноманітних поліфункціональних модифікаторів.

Оптимальні параметри виготовлення ЦНВ наступні:

питома поверхня 550...600 м<sup>2</sup>/кг; вміст техногенного наповнювача – до 50%; витрата добавки суперпластифікатора Sika VC 225 - 0,5%, С-3 – 1%.

1. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Строительные минеральные вяжущие материалы. - М.: Инфра-Инженерия, 2011. - 544 с. 2. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика, М.: 1998.-768 с. 3. Юдович Б.Э. Цементы низкой водопотребности: новые результаты и перспективы / Б.Э.Юдович и др. // Цемент и его применение.- 2006.- Июль-август.- С.80-84. 4. Хозин В.Г. Влияние ПАВ (суперпластификаторов и пенообразователей) на размолоспособность портландцемента и наполнителей / Хозин В.Г., 5. Хохлачев О.В., Якупов М.И. та інш. // Науковий вісник будівництва. Зб. наук. праць.- Харків, ХДТУБА, 2010, №59.- С.78-90. 6. Дворкин Л.И. Снижение расхода цемента и топлива в производстве сборного железобетона. - Киев: Вища школа, 1985.- 170 с.