

# НАУКА – ПРОИЗВОДСТВУ

УДК 666.944.21

Дворкін Л.Й., доктор техн. наук, професор;

Дворкін О.Л., доктор техн. наук, професор;

Гарніцький Ю.В., канд. техн. наук, доцент;

Чорна І.В., аспірант;

Марчук В.В., аспірант, Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

## ЦЕМЕНТИ НИЗЬКОЇ ВОДОПОТРЕБИ ТА БЕТОНИ НА ЇХ ОСНОВІ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ДИСПЕРСНИХ ТЕХНОГЕННИХ ПРОДУКТІВ

**Портландцемент** залишається найбільш звичайним будівельним матеріалом, тому, враховуючи високу енергоємність його виробництва, питання зниження витрати та раціонального використання цементного клінкеру залишаються актуальними. Одним із критеріїв ефективності використання цементу в бетоні може бути відношення витрати цементного клінкеру в 1 м<sup>3</sup> бетону до його міцності (кг/МПа). Для бетонів низької та середньої міцності цей критерій лежить в межах 15–17 [1], при міцності 35–40 МПа – 12–14, для бетонів міцністю 60–80 МПа з використанням сучасних суперпластифікаторів і мікрокремнезему – в межах 7–10. Подальше підвищення ефективності використання клінкеру можливе при збільшенні його активності, однак на сьогодні цементна промисловість певною мірою вичерпала традиційні шляхи для цього. З останньої редакції ДСТУ Б В.2.7-46 навіть виключені марки цементу вище М500. Хоча в ДСТУ Б EN 197-1:2008 передбачений клас цементу 52,5 (аналог марки М600), однак ні в Україні, ні в Європі він масово не випускається. Забезпечення високих будівельно-технічних властивостей сучасного бетону, зокрема високоміцного, виконується за рахунок суттєвого ускладнення та здороження технології його виготовлення, зокрема шляхом введення високоактивних мінеральних (мікрокремнезем) та хімічних (гіперпластифікатори) добавок, застосуванням високоякісних заповнювачів із заданою гранулометриєю.

Підвищення активності при одночасному зменшенні вмісту клінкеру в цементі можливе при його тонкому помелі до питомої поверхні 5000–7000 см<sup>2</sup>/г. Тонкомелені цементи (ultrafine cements) з розміром

частинок до 10 мкм дозволяють підвищити активність і зменшити вміст клінкерної складової, однак при помітному збільшенні нормальної густоти. Тому найбільш перспективними в'язучими для сучасних високоміцних бетонів видаються запропоновані в середині 80-х років цементу низької водопотреби (ЦНВ) [2, 3]. Отримані сумісним помелом портландцементного клінкеру (чи товарного цементу) та двоводного гіпсу з мінеральною добавкою і суперпластифікатором, вони дозволяють зберегти переваги тонкомелених цементів при суттєвому зниженні їх водопотреби до НГ=16–18%. Застосування ЦНВ фактично повертає технологію сучасного бетону до класичної трьохкомпонентної схеми – в'язуче, заповнювачі, вода, при цьому надавши йому принципово нових властивостей.

Традиційно в якості наповнювача ЦНВ застосовують кварцовий пісок, рідше карбонатний наповнювач у кількості 30–70%. Найкращі результати з точки зору міцності на стиск як в'язучого, так і бетонів були отримані [4] при використанні активних наповнювачів – доменного шлаку та золи-виносу, однак у подальшому бетони на таких ЦНВ системно не досліджувались. Застосування золи-виносу чи інших пилоподібних техногенних продуктів в якості компонента ЦНВ доцільне також з тієї причини, що їх висока дисперсність суттєво знижує енергозатрати на помел. Крім золи-виносу, одним з таких тонкодисперсних компонентів, який у великій кількості накопичується на виробництві, є пил-виносу обертових печей цементних заводів, відібраний з відхідних газів у електрофільтрах – цементний пил (ЦП).

Таблиця 1

Хімічний склад вихідних матеріалів

Назва матеріалу	Вміст оксидів, %									
	в.п.п.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CaOв
Сировинний шлак	-	20,80	5,25	4,113	67,95	0,54	0,59	-	-	-
Клінкер	-	21,80	5,32	4,11	66,80	0,95	0,63	0,54	0,42	-
Пил електрофільтрів	24,07	12,22	3,41	2,05	49,01	0,84	5,29	2,78	0,55	3,10
Зола-виносу	5,1		84,5		2,1	2,0	1,3		1,2	2,5
Доменний шлак		22,47	5,26	4,07	66,18	0,62	0,36		0,29	0,32

**Метою** даної роботи було встановлення оптимальних параметрів складу цементів низької водопотреби, які містять техногенні пилоподібні продукти – золу-виносу або цементний пил, а також дослідження властивостей високоміцних бетонів з використанням пропонованих ЦНВ.

У якості вихідних використовували матеріали, характерні для ПАТ «Волинь-цемент» – портландцемент ПЦ І-500, цементний пил, доменний гранульований шлак Криворізького металургійного комбінату, а також золу-виносу Бурштинської ТЕС. Усереднений хімічний склад матеріалів та сировинного шламу ПАТ «Волинь-цемент» наведений у табл. 1.

Мінералогічний склад клінкеру наступний:  $C_3S$  – 57,10%.  $C_2S$  – 21,27%,  $C_3A$  – 6,87%,  $C_4AF$  – 12,19%. У складі пилу міститься до 20 % клінкерних мінералів; з них двокальцієвого силікату  $\beta$ - і  $\gamma$ -модифікацій – 8–10, двокальцієвого фериту і чотирьохкальцієвого алюмофериту – 10–12, вільного оксиду кальцію – 2–14, лугів – 1–8 %. Основна маса пилу складається з суміші дегідратованої глини і вапняку, що не розклався.

Основним способом утилізації пилу в цементній промисловості є повторне введення його в сировинну суміш. Цей спосіб не є досить ефективним, оскільки при поверненні пил повторно нагрівається, не використовується його активність і дисперсність. Якість клінкеру знижується за наявності в пилові великої кількості лугів. При випаленні клінкеру за мокрим способом пил сприяє утворенню шламових кілець, особливо при коливанні хімічного складу сировинної суміші, при нерівномірному живленні сировинною сумішшю і паливом, непостійності зернового складу шихти і твердого палива, наявності у складі сировини підвищеної кількості лужних оксидів, сульфатів, оксиду заліза, а також присадки золи палива [5]. У зв'язку із застосуванням нових суперпластифікаторів і вдосконаленням техніки помелу останніми роками досліджувались і інші способи утилізації пилу, а саме використання в якості мінеральної добавки композиційних в'язучих. Такий досвід накопичений, зокрема, у Польщі.

Таблиця 2

**Умови планування експериментів при дослідженні системи «цемент-пил-шлак»**

Фактори	Значення факторів*	Рівні варіювання			Інтервал варіювання
		-1	0	+1	
$X_1$	(П+Ш), %	10	35	60	25
$X_2$	$\frac{П}{П+Ш}$	0	0,5	1	0,5
$X_3$	Спит, м <sup>2</sup> /кг	300	450	600	150
$X_4$	СП, %	0	1,3	3	1,5

\* П – пил обертових печей, Ш – доменний гранульований шлак,  $S_{пит}$  – питом поверхня, СП – суперпластифікатор С-3.

Зола-виносу широко використовується як компонент цементів, бетонів і розчинів. Накопичений значний позитивний досвід її використання в першу чергу у бетонах і розчинах [6], а також у композиційних цементах [7]. Вимоги до золи як компонента цементів наведені в ДСТУ Б В.2.7-128:2006 і зводяться, в основному, до обмежень щодо втрат при прожарюванні ( $\leq 5\%$ ) та за вмістом вільного  $CaO$  ( $\leq 2,5\%$ ) і лужних оксидів ( $\leq 3\%$ ). За першими двома показниками зола Бурштинської ТЕС знаходиться на межі допустимих, однак досвід цементного заводу у м. Миколаїв (Львівська обл.) свідчить про можливість використання цієї золи як активної мінеральної добавки до цементу.

**Основні дослідження в'язучих** були проведені в системах «портландцемент – цементний пил (зола-виносу) – доменний гранульований шлак» та «портландцемент – зола-виносу». Досліджували вплив співвідношення портландцемент : пил (зола) : шлак, а також величини питомої поверхні на активність та інші властивості в'язучого, отриманого сумісним помелом вказаних компонентів в присутності суперпластифікаторів нафталінформальдегідного (С-3), акрилатного (Dynamon SP-3) та полікарбоксилатного (Sika VC225) типів. Доменний шлак в складі цих в'язучих виконує роль не тільки активної мінеральної добавки, але також і компенсатора негативного впливу лугів, сірчаного ангідриду і вільного оксиду кальцію. Вказані компоненти пилу чи золи не тільки поглинаються шлаком, але й сприяють підвищенню активності останніх.

Дослідження виконували із застосуванням математичного планування експерименту. Для системи «цемент-пил-шлак» був реалізований трьохрівневий план  $B_4$ . Після статистичної обробки експериментальних результатів отримані математичні моделі (1, 2) міцності на стиск композиційних в'язучих у віці 2 ( $y_1$ ) і 28 ( $y_2$ ) діб у вигляді поліноміальних рівнянь регресії другого порядку. Умови планування експериментів наведені в табл. 2.

Аналіз поліноміальних моделей (1, 2), отриманих в результаті обробки експериментальних даних, дозволяє прослідкувати чітко виражений нелінійний характер впливу досліджуваних чинників на міцність композиційних в'язучих і знайти їх оптимальні значення (рис. 1). З графіків видно, що при вмісті доменного шлаку в цементі 10%, його домолі до питомої поверхні 450 м<sup>2</sup>/кг і введенні 1,5% суперпластифікатора активність в'язучого перевищує 70 МПа, тобто майже в 1,5 рази активність вихідного цементу.

$$y_1 = 21,09 - 5,04X_1 - 2,24X_2 + 1,85X_3 + 1,96X_4 + 0,88X_1^2 - 3,12X_2^2 - 3,62X_3^2 - 1,38X_4^2 - 0,88X_1X_2 - 0,75X_1X_3 + 0,13X_2X_3 + 0,25X_2X_4 + 0,38X_3X_4 \quad (1)$$

$$y_2 = 53,60 - 11,65X_1 - 6,78X_2 + 6,22X_3 + 4,03X_4 + 8,82X_1^2 - 9,68X_2^2 - 3,68X_3^2 - 2,18X_4^2 - 5,81X_1X_2 - 0,94X_1X_3 - 1,06X_2X_3 - 0,56X_2X_4 + 0,81X_3X_4 \quad (2)$$

Підвищення вмісту суперпластифікатора до 3% і питомої поверхні в'язучого до 600 м<sup>2</sup>/кг приводить до порівняно невисокого додаткового приросту активності.

Наповнення в'язучого мінеральною добавкою закономірно приводить до зниження міцності цементу

(рис. 1а, д). Найбільш інтенсивне падіння міцності цементу має місце в тому випадку, коли мінеральна добавка вміщує лише пил обертових печей. При введенні 60% пилу клінкеру обертових печей активність цементу знижується майже в 3,5 рази – від 51 до 15 МПа. Домол наповненого пилом цементу і введення добавки суперпластифікатора дозволяє підвищити міцність в'язучого до 30 МПа.

Ефект зниження міцності при наповненні цементу доменним шлаком і композицією шлаку та пилу є істотно меншим, ніж лише пилом, особливо при підвищенні тонкості помелу і введенні добавки суперпластифікатора (рис. 1а, г).

Оптимальне співвідношення пилу і шлаку в пилошлаковому компоненті в'язучого змінюється залежно від його загального вмісту у в'язучому. При загальному вмісті композиційної мінеральної добавки 50–60% оптимальне співвідношення в ньому пилу і шлаку наближається до одиниці.

Аналіз експериментальних результатів дозволяє стверджувати можливість заміни до 50% клінкеру в портландцементі композиційною мінеральною добавкою без зниження активності цементу при його домолі до питомої поверхні 450–500 м<sup>2</sup>/кг і введенні суперпластифікатора типу С-3 в кількості 1,5–2%. Нормальна густина такого в'язучого знаходиться в межах 20–22%. Воно характеризується швидким наростанням міцності, яка вже в 2-х добовому віці досягає 50% марочної (рис. 1г).

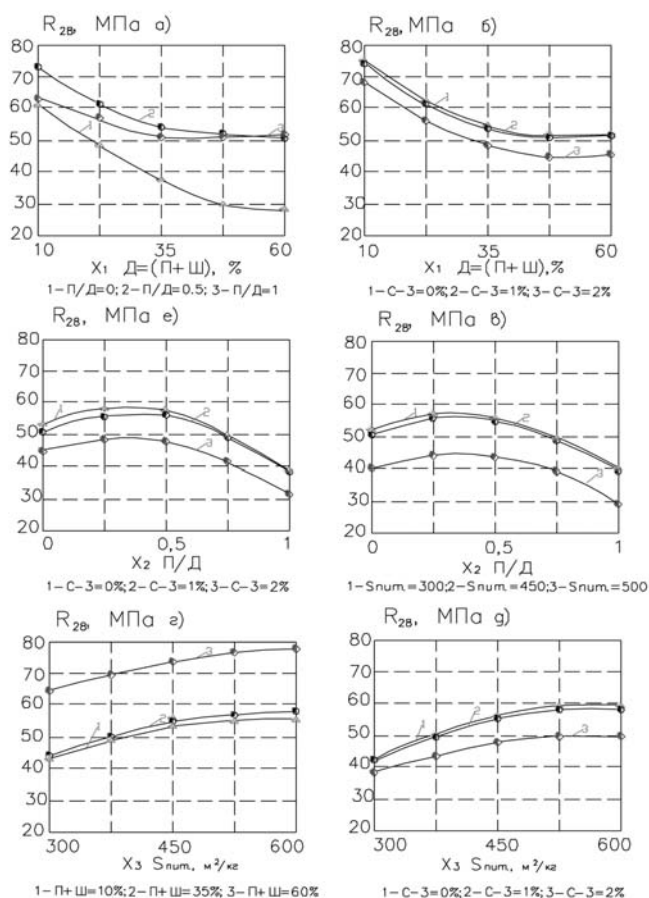


Рис. 1. Залежність міцності на стиск у віці 28 днів (R28) ЦНВ, який містить цементний пил, від технологічних факторів

Рання міцність цементу практично лінійно знижується із збільшенням вмісту в ньому пилу, при введенні композиційної добавки негативний вплив збільшення співвідношення пил:шлак відчувається тим раніше, чим більше їх сумарний вміст. При досягненні питомої поверхні в'язучого більше 450 м<sup>2</sup>/кг її вплив на ранню міцність стабілізується. Вплив добавки суперпластифікатора в найбільшій мірі відчувається при дозуваннях в межах 1,3–1,5% від маси в'язучого.

Проведені дослідження дозволили експериментально встановити можливість отримання композиційних високоміцних швидкотвердіючих цементів низької водопотреби з використанням пилу обертових печей і доменного гранульованого шлаку.

Дослідження в системі «цемент – зола» проводились за трьохрівневим трьохфакторним планом В<sub>3</sub>, умови планування наведені в табл. 3.

У ході досліджень виготовляли цементно-піщаний розчин складу цементно-зольне в'язуче : пісок = 1 : 3, визначали водов'язуче відношення (В/В'яз) для досягнення розпливу конуса розчину на струшуючому столику не менше 106 мм та міцність зразків-балочок на стиск і згин у віці 2, 7 і 28 днів.

Після обробки і статистичного аналізу експериментальних даних отримали математичні моделі (3–5) міцності досліджуваних золівмісних ЦНВ на стиск у віці 2 доби (y<sub>3</sub>), 28 днів (y<sub>4</sub>) та на згин (y<sub>5</sub>) у вигляді поліноміальних рівнянь регресії.

$$y_3 = 19,24 + 3,06 \cdot X_1 - 1,96 \cdot X_2 - 2,22 \cdot X_3 + 0,388 \cdot X_1 X_2 - 0,663 \cdot X_1 X_3 - 0,538 \cdot X_2 X_3 + 1,694 \cdot X_1^2 - 1,551 \cdot X_2^2 + 0,149 \cdot X_3^2 \quad (3)$$

$$y_4 = 56,46 + 0,72 \cdot X_1 + 6,1 \cdot X_2 - 1,95 \cdot X_3 + 0,175 \cdot X_1 X_2 - 0,45 \cdot X_2 X_3 - 4,138 \cdot X_1^2 - 6,699 \cdot X_2^2 - 0,412 \cdot X_3^2 \quad (4)$$

$$y_5 = 9,21 - 0,75 \cdot X_1 - 0,45 \cdot X_2 - 0,23 \cdot X_3 + 0,225 \cdot X_1 X_2 - 0,075 \cdot X_1 X_3 - 0,075 \cdot X_2 X_3 - 0,082 \cdot X_1^2 - 0,682 \cdot X_2^2 + 0,018 \cdot X_3^2 \quad (5)$$

Графічні залежності, які ілюструють вплив технологічних факторів на міцність ЦНВ на стиск у віці 2 та 28 днів наведені на рис. 2. Аналізуючи їх, приходимо до висновку, що найбільший вплив на активність ЦНВ має вміст золи-виносу у в'язучому, при збільшенні якого міцність ЦНВ зменшується. За таких умов для підвищення активності ЦНВ доцільне введення суперпластифікатора, що дозволяє зменшити його

Таблиця 3

**Умови планування експерименту при дослідженні системи «цемент – зола»**

Фактори		Рівні варіювання факторів			Інтервал варіювання
Натуральний вид	Кодований вид	-1	0	+1	
Питома поверхня, S <sub>пит</sub> , см <sup>2</sup> /г	X <sub>1</sub>	5000	6000	7000	1000
Вміст добавки суперпластифікатора Sika VC225, %	X <sub>2</sub>	0,4	0,7	1	0,3
Вміст золи-виносу в ЦНВ, Z, %	X <sub>3</sub>	50	40	30	10

водопотребу. При збільшенні витрати суперпластифікатора зменшується В/В'яз-відношення, а міцність відповідно зростає.

Оптимальна витрата суперпластифікатора полікарбоксилатного типу у в'язучому становить 0,7%, що призводить до збільшення активності в 1,5–2 рази у порівнянні з витратою СП 0,4%. Однак подальше збільшення кількості добавки недоцільне, тому що навіть при деякому зниженні В/В'яз- відношення міцність практично не зростає. Міцність на згин набагато менше залежить від витрати суперпластифікатора і практично не змінюється при збільшенні його витрати від 0,35% до 1%, при цьому початкова міцність зростає на 25–40%.

Збільшення питомої поверхні понад 5000 см<sup>2</sup>/г призводить до збільшення міцності на стиск і згин в усі терміни твердіння. Зокрема збільшення питомої поверхні від 5000 до 6000 см<sup>2</sup>/г призводить до збільшення активності цементу на 10–15%. Однак при питомій поверхні близько 7000 см<sup>2</sup>/г спостерігається в основному збільшення ранньої міцності, але у віці 28 діб можливе навіть деяке зниження активності цементу. Тому висока дисперсність в'язучого доцільна у випадках коли необхідно забезпечити високу ранню міцність. Підвищена дисперсність ЦНВ у віці 28 діб краще проявляється на його активності ніж на міцності на згин, а у ранньому віці навпаки.

Для підтвердження доцільності використання золи-виносу Бурштинської ТЕС як компонента ЦНВ у ряді дослідних складів її замінювали на кварцовий пісок (рис. 3.). Зростання активності ЦНВ-50, яке містить 38 % золи-виносу та 12% доменного шлаку у віці 28 діб становить 25–30% у порівнянні з аналогічним ЦНВ, яке містить таку ж кількість кварцового піску. У ранньому віці вид наповнювача має незначний вплив на активність ЦНВ.

При порівняльних дослідженнях було встановлено, що з усіх суперпластифікаторів найвищу міцність в'язучого на стиск та згин отримали при використанні

суперпластифікатора полікарбоксилатного типу Sika VC 225. Це пояснюється тим, що даний суперпластифікатор має найвищу водоредуруючу здатність, що виражається на зменшенні НГ і В/Ц-відношення. Зокрема при використанні суперпластифікатора Sika ViscoCrete225 у кількості 0,35% НГ знижується з 27% до 22,5%, а водоцементне відношення – з 0,42 до 0,33. Збільшення вмісту суперпластифікатора до 1 % призводить до зниження НГ до 17%, а В/Ц. до 0,23. На рис. 4 наведена залежність міцності на стиск і згин ЦНВ від типу і витрати добавки суперпластифікатора при однаковій тривалості помолу.

Аналізуючи наступні графіки приходимо до висновку, що оптимальна витрата суперпластифікатора полікарбоксилатного типу в складі ЦНВ становить 0,7%, що призводить до збільшення активності вихідного цементу (до помолу) в 2–2,2 рази в усі терміни. Подальше збільшення кількості добавки недоцільне, тому що міцність практично не зростає. Суперпластифікатори акрилатного і нафталінформальдегідного типу помітно менш ефективні, ніж добавки полікарбоксилатного типу при однаковому чи навіть більшому їх вмісті у в'язучому.

Таким чином, виконані дослідження підтвердили доцільність використання золи виносу Бурштинської ТЕС як компонента ЦНВ, дозволили встановити оптимальне співвідношення компонентів у в'язучому, тонкість його помелу та витрату суперпластифікатора.

Після встановлення раціонального складу в'язучого дослідували можливість отримання високоміцних бетонів на його основі. В якості заповнювачів використовували гранітний щебінь фракцій 5–10 та 10–20, а також кварцовий пісок з модулем крупності 1,9 і вмістом відмулюваних домішок до 2%. Співвідношення пісок : щебінь встановлювали експериментально з умови мінімальної пустотності суміші заповнювачів, співвідношення ЦНВ : заповнювач приймалось постійним і становило близько 1 : 4.

Встановлено, що кінетика твердіння бетонів на основі обох композиційних ЦНВ істотно відрізняється від характеру наростання міцності бетону з ізопластичних сумішей, у які суперпластифікатор вводився

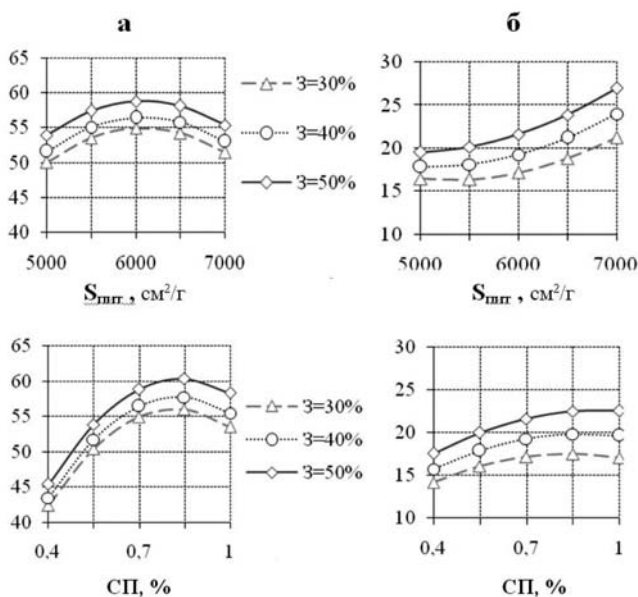


Рис. 2. Вплив технологічних факторів на міцність золовмісних ЦНВ на стиск у віці 28діб (а) і 2 доби (б)

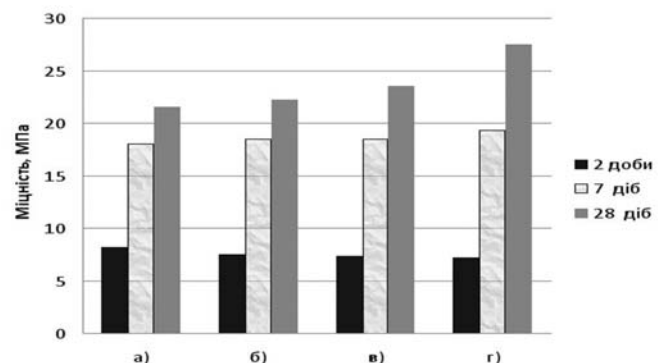


Рис. 3. Активність ЦНВ у віці 2, 7, 28 діб при застосуванні різних наповнювачів:

- а) кварцовий пісок без добавки СП;
- б) кварцовий пісок з добавкою СП SP-3 (1%);
- в) зола-виносу без добавки СП;
- г) зола-виносу з добавкою СП SP-3 (1%)

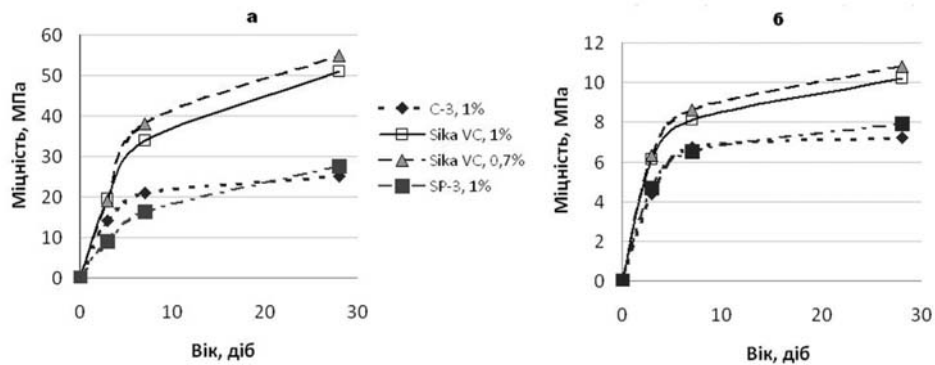


Рис. 4. Залежність міцності на стиск і згин від типу і витрати добавки суперпластифікатора

традиційною технологією при замішуванні. Вона характеризується інтенсивним набором міцності вже через кілька годин.

Експериментальні дані показують, що збільшення вмісту наповнювачів у в'язучому для бетонів в межах 30–60% незначно зменшує міцність у віці 28 діб при оптимальних значеннях В/Ц та вмісту суперпластифікатора. Так при сумарному вмісті добавок пилу та шлаку 40% у складі в'язучого міцність на 28 добу складає 58 МПа, а при 60% – 48 МПа. Схожі результати отримані для зольного ЦНВ при його вмісті 30–50%. Отримані показники міцності суттєво перевищують значення для контрольних зразків, виготовлених на вихідному цементі, що використовувався для виготовлення ЦНВ. Це пояснюється покращенням стану контактної зони на межі поділу «цементний камінь-заповнювач», а також складу і структури новоутворень у цій зоні.

В ході досліджень встановлені оптимальні В/Ц та визначені фізико-механічні властивості жорстких та литих бетонних сумішей на основі ЦНВ. Деякі з отриманих результатів наведені в табл. 4 та на рис. 5.

З отриманих даних відслідковується лінійний характер зміни міцності із збільшенням вмісту СП до певної оптимальної межі у литих сумішах. У жорстких сумішах вплив вмісту суперпластифікатора відчутний

слабше. Витрата в'язучого в межах 405–500 кг на м<sup>3</sup> бетонної суміші підтверджує економічну доцільність використання ЦНВ, що вміщує лише 40–50% портландцементу, у виробництві бетонів. Згаданий вище критерій ефективності використання цементу в бетоні – відношення витрати цементного клінкера в 1 м<sup>3</sup> бетону до його міцності (кг/МПа) для досліджених складів лежить в межах 2,5–4, що свідчить про високу ефективність використання в бетоні пропонувані цементів низької водопотреби з пиловидними техногенними продуктами.

Таким чином, технологічна доцільність використання цементів низької водопотреби, які містять пилоподібні техногенні продукти для отримання високоміцних бетонів не викликає сумнівів. При заміні до 60% цементного клінкера золою виносу чи цементним пилом з добавкою доменного шлаку вдається отримати композиційні в'язучі активністю 60–70 МПа та бетони міцністю до 80 МПа, в тому числі зі здатністю до самоущільнення.

Економічна доцільність використання ЦНВ також не викликає сумнівів. Виготовлення ЦНВ включає лише одну додаткову операцію – тонкий помол, максимальна енергоємність якого не перевищує 50 кВт год/т цементу і зменшується при використанні сучасним

Таблиця 4

**Результати досліджень бетонів з використанням ЦНВ**

Витрата ЦНВ, кг/м <sup>3</sup>	В/Ц	Вид і вміст суперпластифікатора	Рухливість суміші, см	Питома поверхня ЦНВ, см <sup>2</sup> /г	Міцність бетону на стиск, МПа, у віці, діб		
					3	7	28
ЦНВ цемент : пил : шлак складу 3 : 1 : 1							
451	0,35	-	ОК=3	5450	29,1	37,9	52,4
451	0,28	С-3, 1	ОК=3	5500	47,0	55,5	74,4
451	0,25	С-3, 2	ОК=2	4400	49,4	55,0	70,1
406	0,60	-	РК=35	5450	7,3	11,4	22,0
406	0,39	С-3, 1	РК=35	5500	21,3	32,0	45,0
406	0,34	С-3, 2	РК=35	4400	25,0	36,0	54,0
ЦНВ цемент : зола : шлак складу 4 : 3 : 1							
500	0,27	Sika VC225, 1%	РК=32	5580	42,8	58,5	80,5
500	0,27	С-3, 1%	ОК=3	5580	36,5	49,5	64,8
500	0,27	Sika VC225, 0,7%	ОК=2	6450	46,5	63,7	79,1

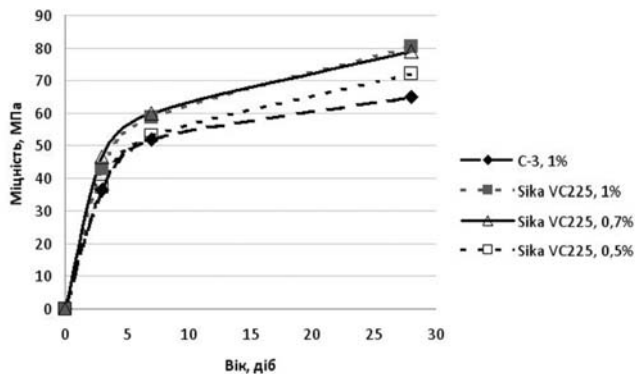


Рис. 5. Залежність міцності бетону з використанням зольного ЦНВ на стиск від виду і кількості суперпластифікатора

типів млинів – вібраційних, валкових, струменевих. Для отримання 1 кВт год електроенергії на електростанціях України витрачається від 0,3... 0,37 кг умовного палива, енергозатрати на отримання клінкеру становлять 120–140 кг ум.п /т для заводів сухого способу та до 240 кг для заводів мокрого способу [1]. При економії 50% клінкеру зменшення енергозатрат на його отримання складе 60–120 кг ум.п./т, а збільшення затрат на помол – 15–19 кг ум.п. Таким чином, зменшення енергозатрат може скласти до 100 кг ум.п./т цементу. Введення суперпластифікатора у ЦНВ не викличе додаткових затрат на бетон, оскільки вміст СП у ЦНВ принципово не відрізняється від його вмісту у сучасних бетонах.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Дворкин Л.И. Снижение расхода цемента и топлива в производстве сборного железобетона. – Киев: Вища школа, 1985.
2. Батраков В.Г. Бетоны на вяжущих низкой водопотребности / Батраков В.Г., Башлыков Н.Ф., Бабаев Ш.Т. и др. // Бетон и железобетон. – 1988. – №11. – С. 4–6.
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. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. М.: АО «Астра семь», 1998. – 768 с.
5. Бутт Ю.М. Химическая технология вяжущих материалов / Бутт Ю.М., Сычев М.М., Тимашев В.В. – М., Высш. шк., 1980. – 472 с.
6. Дворкин Л.И. Эффективные цементно-зольные бетоны / Дворкин Л.И., Дворкин О.Л., Корнейчук Ю.А. – Ровно, 1998. – 195 с.
7. Саницький М.А. Структуроутворення композиційних портландцементів з хімічними додатками / Саницький М.А., Шевчук Г.Я., Хаба П.М. // Хімія, технологія речовин та їх застосування. – Вісник Державного університету «Львівська політехніка». – Львів, 1997. – №316. – С. 195–197.

Вышла из печати книга **“Специальные бетоны”** (М.: Инфра-Инженерия, 2012, 368 с.). Авторы - доктора технических наук, профессора **Дворкин Л.И., Дворкин О.Л.**

Излагаются основы технологии, свойства и применение группы специальных бетонов, применяемых в строительстве.

Рассмотрены основные особенности, пути достижения и регулирования свойств специальных бетонов, направления повышения их долговечности и эффективности в строительных конструкциях и изделиях.

Приведены действующие нормативные данные, регламентирующие технические требования к специальным бетонам.

Книга предназначена для инженерно-технических работников строительных организаций и предприятий, а также студентов строительных специальностей высших учебных заведений.