

**МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО**

**УДК 691:66**

**Дворкін Л. Й., д.т.н., професор, Гарніцький Ю. В., к.т.н., доцент, Марчук В. В., аспірант, Марчук І. П., студентка ФБА (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)**

**В'ЯЖУЧІ НИЗЬКОЇ ВОДОПОТРЕБИ НА ОСНОВІ ЗОЛИ-ВИНОСУ ТА БЕТОНИ НА ЇХ ОСНОВІ**

**Наведені результати дослідження в'язучих низької водопотреби (ВНВ) з добавками золи-виносу і суперпластифікаторів різних типів. Показана ефективність отриманих ВНВ у високоміцних бетонах.**

**Ключові слова: портландцемент, зола-виносу, в'язучі низької водопотреби, суперпластифікатор**

**Приведены результаты исследований вяжущих низкой водопотребности (ВНВ) с добавкой золы-уноса и суперпластификаторов различных типов. Показана эффективность полученных ВНВ в высокопрочных бетонах.**

**Ключевые слова: портландцемент, зола-унос, вяжущие низкой водопотребности, суперпластификатор**

**There are results obtained of low water demand cements research with the addition of fly ash and various types of superplasticizers. Efficiency of the resulting binder in high-strength concretes is shown.**

**Keywords: portland cement, fly ash, low water demand cement, superplasticizer**

**Розв'язання проблеми** раціонального використання портландцементного клінкеру у високоміцних бетонах і зниження їх енергоємності можливе за рахунок застосування композиційних в'язучих і комплексу технологічних прийомів, які передбачають підвищення їх активності [1], зокрема, шляхом більш тонкого помолу і зменшення водопотреби в'язучого та бетону на його основі [2].

**Метою роботи** було встановлення можливості отримання ВНВ шляхом домолу рядового портландцементу разом з золою-виносу та добавками суперпластифікаторів різних типів, а також вивчити вплив на міцність ВНВ факторів складу.

У якості компонентів в'язучого застосовували портландцемент ПЦ II/A-III виробництва ПАТ «Волинь-Цемент», який містив 20% доменного

гранульованого шлаку. Мінералогічний склад клінкеру наступний:  $C_3S$  – 57,1%;  $C_2S$  – 21,27%;  $C_3A$  – 6,87%;  $C_4AF$  – 12,19%. В якості активного наповнювача ВНВ використали золу-виносу Бурштинської ТЕС, в якості хімічної добавки – суперпластифікатор нафталінформальдегідного (НФ) типу С-3, акрилатного (АК) типу SP-3 та полікарбоксилатного (ПК) типу Sika ViscoCrete 225. Хімічний склад клінкеру, золи-виносу та доменного шлаку, який входить до складу цементу наведений в табл. 1.

Таблиця 1

Хімічний склад вихідних матеріалів

	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	R <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	CaO <sub>B</sub>	
клінкер	22,47	5,26	4,07	66,18	0,62	0,29	0,36	0,32	-
зола	84,5 (разом)			2,1	2,0	1,2	2,3	2,5	5,1
шлак	22,47	5,26	4,07	66,18	0,62	0,29	0,36	0,32	-

В якості вихідних параметрів в'язучого досліджувались питома поверхня, нормальна густина, міцність на стиск (активність) та на згин.

В'язуче виготовляли спільним помолом портландцементу, золи-виносу та суперпластифікатора у кульовому млині, де в якості мелючих тіл було використано циліпсес. З урахуванням речовинного складу портландцементу склад отриманого в'язучого був наступний: клінкер – 50%, шлак – 12%, зола-виносу – 38%. Таким чином, отримане в'язуче можна віднести до ВНВ-50 [3].

Питому поверхню визначали методом повітропроникності на приладі Блейна згідно з ДСТУ Б В.2.7-188:2009, нормальну густану – 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 цементу** без додаткового помолу складає 2800...3200 см<sup>2</sup>/г. Введення суперпластифікатора позитивно впливає на кінетику помолу в'язучого скорочуючи при цьому його тривалість, що відповідає відомим даним [4]. Для підвищення питомої поверхні і зниження енергозатрат використовували інтенсифікатор помолу – пропіленгліколь. При додатковому помолі протягом одної години питома поверхня в'язучого збільшується до 4300...4800 см<sup>2</sup>/г, протягом двох годин – до 5400...5700 см<sup>2</sup>/г, а у випадку введення добавки інтенсифікатора помолу у кількості 0,04% становить 5800...6200 см<sup>2</sup>/г. При тривалості помолу три години з використанням інтенсифікатора отримання питома поверхня в'язучого 7400...7600 см<sup>2</sup>/г, без використання інтенсифікатора – 6000...6800 см<sup>2</sup>/г. Подальше збільшення часу помолу у лабораторних умовах до 4-х годин суттєво не збільшує питому поверхню, що підтверджує відомі дані [4]. Залежність питомої поверхні від виду і кількості добавки суперпластифікатора та тривалості помолу наведена на рис. 1.

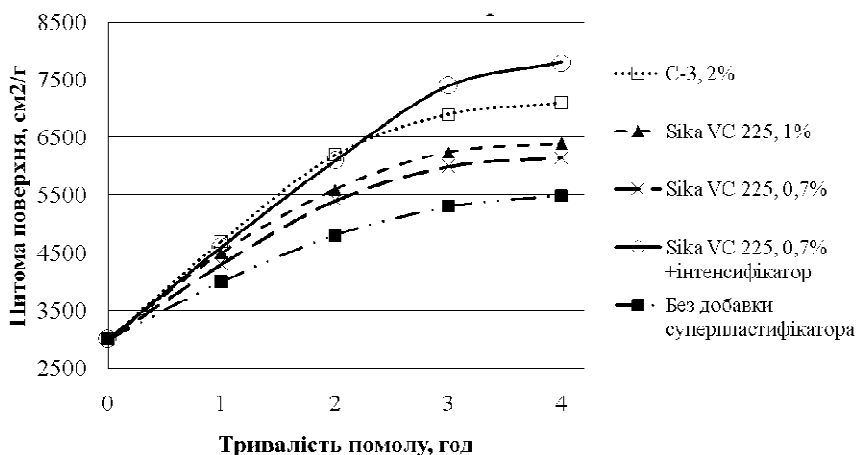


Рис. 1. Залежність питомої поверхні від виду і кількості добавки суперпластифікатора та тривалості помолу

Аналізуючи отримані дані, приходимо до наступних висновків:

- суперпластифікатори виконують роль інтенсифікаторів помолу;
- найменш ефективним інтенсифікатором помолу виявилась добавка акрилатного типу;
- встановлена можливість сумісного застосування суперпластифікаторів з інтенсифікатором помолу пропіленгліколем.

Залежності міцності золівмісного ВНВ на стиск і згин від питомої поверхні наведені на рис. 2.

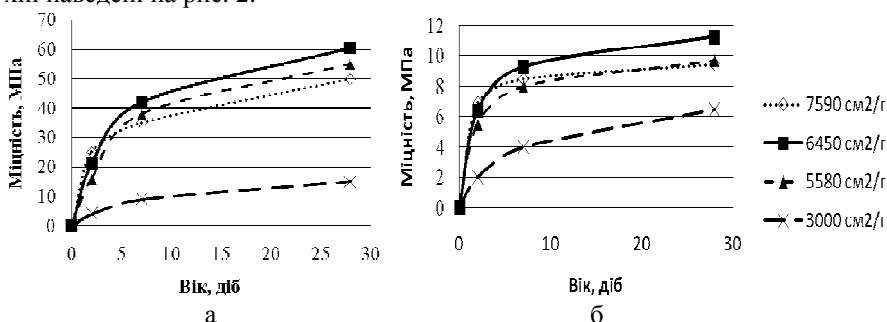


Рис. 2. Залежність міцності на стиск (а) та згин (б) від питомої поверхні

Аналізуючи графіки, приходимо до висновку, що збільшення питомої поверхні понад 5000 см<sup>2</sup>/г призводить до збільшення міцності на стиск і згин в усі терміни твердіння. Однак при питомій поверхні близько 7500 см<sup>2</sup>/г спо-

стерігається в основному збільшення ранньої міцності, що підтверджує дані роботи [4], але у віці 28 діб міцність зростає незначно. Підвищена дисперсність ВНВ у віці 28 діб краще проявляється на його активності ніж на міцності на згин, а у ранньому віці навпаки.

Вид і вміст добавки суперпластифікатора та питома поверхня отриманого в'язучого суттєво впливають на його нормальну густоту (НГ) та міцність, про що свідчать дані табл. 2.

Таблиця 2

Властивості цементно-зольного ВНВ

№	Супер-пластифікатор	Помол, год	НГ, %	В/В <sub>як</sub>	Міцність на згин, МПа, у віці, діб			Міцність на стиск, МПа, у віці, діб		
	Назва і витрата				2	7	28	2	7	28
1 <sup>1</sup>	-	-	26	0,42	4	7,4	7,9	11,4	20,3	23,4
2 <sup>2</sup>	-	2	26,5	0,4	4,7	6,1	7,5	8,2	18,3	21,8
3 <sup>2</sup>	SP3, 1%		20,5	0,37	3,6	5,7	6,9	7,5	15,2	22,3
4	-	-	29	0,4	2,1	4,1	6,5	3,6	8,7	15,0
5	SP3, 1%		22,5	0,37	1,8	4,2	6,2	1,6	9,2	17,5
6	-	2	27	0,42	4,4	6,6	8,0	7,3	15,0	23,1
7	SP3, 1%		22,5	0,37	4,7	6,5	7,9	7,0	19,3	27,6
8	SP3 2 %		20,5	0,32	3,5	6,2	6,9	6,3	15,0	23,4
9	C-3, 1%		22,5	0,32	4,4	6,7	7,2	14,2	21,0	25,0
10	C-3, 2%		21	0,29	2,7	6,5	9,2	7,6	20,8	25,1
11	SikaVC 1%		17	0,23	6,1	8,1	10,0	19,4	34,3	51,0
12	SikaVC, 0,7%		19	0,27	6,3	8,6	10,8	19,0	38,0	54,7
13	SikaVC, 0,7%		3	19,5	0,27	6,4	8,2	9,5	19,4	24,9
14	SikaVC, 0,7% <sup>3</sup>	2	19,5	0,26	6,4	9,3	11,3	21,0	42,0	60,2
15	SikaVC, 0,35%		22	0,3	5,8	7,9	10,0	15,0	28,0	43,1
16	SikaVC, 0,7% <sup>3</sup>	3	20,5	0,33	6,9	8,5	9,5	25,0	34,8	50,3
17	SikaVC, 0,35%		22,5	0,33	5,2	6,8	8,0	15,0	20,0	38,1

Примітка:

1. Контрольна точка, для визначення активності ПЦ;
2. У якості наповнювача – кварцовий пісок;
3. З добавкою інтенсифікатора помолу пропіленгліколя.

Отримані дані табл. 2 підтверджують доцільність використання золиносу як компонента ВНВ у порівнянні з використанням кварцового піску (рис. 3).

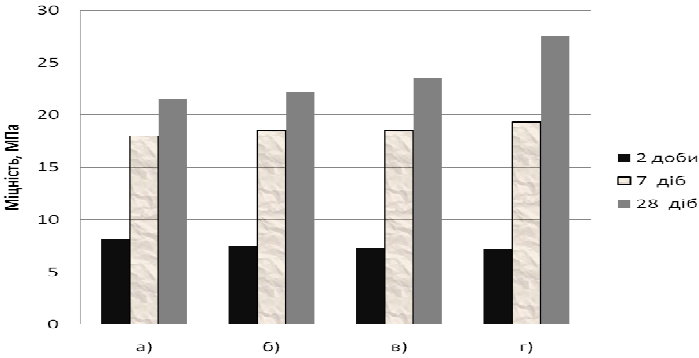
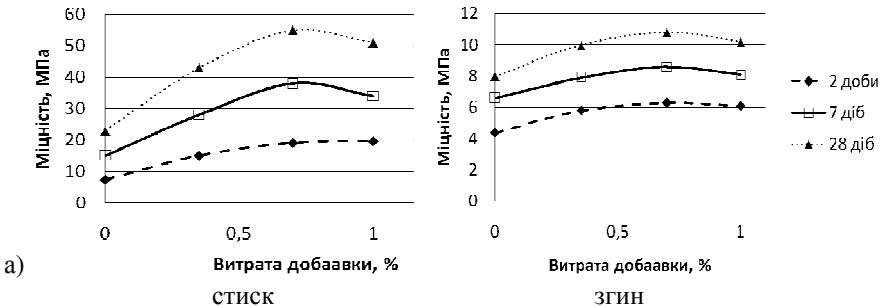


Рис. 3. Активність ВНВ при застосуванні різних наповнювачів:

- 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%)

Зростання активності ВНВ-50, яке містить 38 % золи-виносу, у віці 28 діб становить 25-30% у порівнянні з аналогічним ВНВ, яке містить таку ж кількість кварцового піску. У ранньому віці вплив виду наповнювача на активність ВНВ незначний.

При проведенні дослідів було встановлено, що найвищу міцність в'язучого на стиск та згин отримано 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. На рис. 4 наведена залежність міцності на стиск і згин ВНВ від типу і витрати добавки суперпластифікатора при тривалості помолу 2 год.



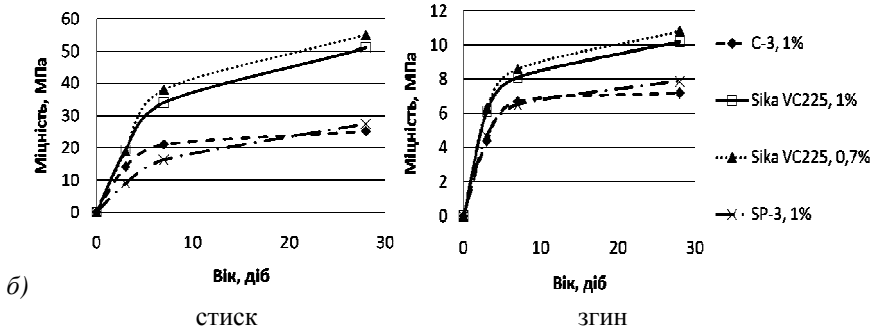


Рис. 4. Залежність міцності на стиск і згин від:

- а) витрати добавки суперпластифікатора Sika VC225;
- б) типу і витрати добавки суперпластифікатора

Аналізуючи наведені графіки, приходимо до висновку, що оптимальним можна вважати вміст суперпластифікатора у в'язучому 0,7%. Так, при зміні 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%.

Для визначення впливу вмісту золи-виносу на міцність ВНВ при оптимальній витраті суперпластифікатора 0,7%, співвідношення клінкер: зола було змінено до 70 : 30, що відповідає ВНВ-70. Після 2-х годин помолу ВНВ мало питому поверхню 6050 см<sup>2</sup>/г. Досліди показали, що при цьому суттєво збільшується рання міцність. Міцність у віці 28 діб залишилася на рівні ВНВ-50 (рис. 5).

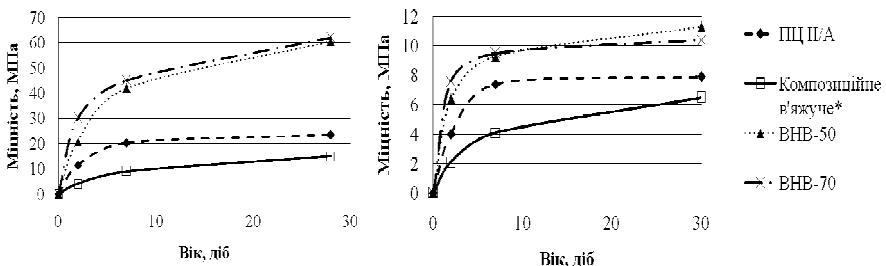


Рис. 5. Залежність міцності на стиск від вмісту золи-виносу у в'язучому (\*-композиційне в'язуче виготовляли змішуванням ПЦ Ц/А з 38 % золи-виносу без помолу і суперпластифікатора)

Отже, підвищення вмісту клінкеру у ВНВ з 30% до 50 % не призводить до

помітного зростання міцності у віці 28 діб.

Таким чином, оптимальні параметри виготовлення цементно-зольного ВНВ наступні:

- питома поверхня 5500...6500  $\text{см}^2/\text{г}$ ;
- вміст наповнювача 50%;
- витрата добавки суперпластифікатора Sika ViscoCrete 225 – 0,7%.

Тривалість помолу ВНВ у лабораторному кульовому млині для досягнення вказаної дисперсності 2 год. за умови використання добавки інтенсифікатора помолу пропіленгліколя у кількості 0,04% від маси цементу;

Максимальна активність отримано ВНВ-50 становить 60,2 МПа, при початковій активності використаного портландцементу ПЦ П/А – Ш 23,4 МПа.

**Дослідження ефективності** отриманих цементно-зольних ВНВ в бетонах виконували на зразках-кубах, міцність яких визначають у віці 3, 7 та 28 діб. У якості заповнювачів використали щебінь гранітний фракції 5-20 мм та пісок кварцовий мілкий з  $M_{кр}$ -1,9 і вмістом відмулюваних домішок 2%. Водов'язуче відношення у ході досліджень було сталим і становило 0,27. Це  $V/V_{в'яз}$  відповідало мінімально можливій легкоукладальності, при якій бетонна суміш формується без додаткового привантаження. Зразки виготовляли на основі ВНВ-50 з різною витратою суперпластифікатора.

Встановлено, що вміст суперпластифікатора у в'язучому впливає на легкоукладальність (консистенцію) суміш і повинен становити не менше 0,5%, а для отримання литих сумішей 1%. Залежність міцності бетону на стиск у віці 28 діб від виду і кількості СП наведена на рис. 6.

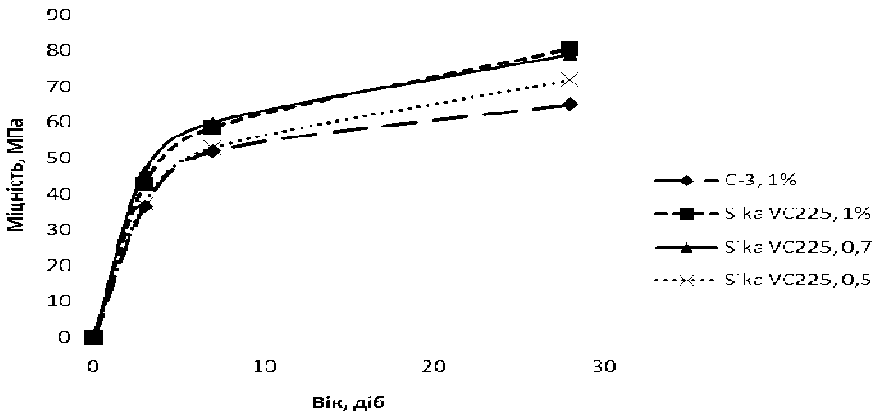


Рис. 6. Залежність міцності бетону на стиск від віку і кількості суперпластифікатора

Аналізуючи дані рис. 6, приходимо до висновку, що найвища міцність бетону досягають при використанні ВНВ з питоною поверхнею 6500  $\text{см}^2/\text{г}$ , при

використанні 0,7% суперпластифікатора у в'язучому. Подальше збільшення витрати суперпластифікатора підвищує легкоукладальність бетонної суміші, але суттєво не позначається на міцності. Отримана міцність бетону відповідає класу В60...В70.

### **Висновки**

1. Використання золи-виносу як компонента ВНВ цілком доцільне і дозволяє отримати у віці 28 діб міцність, вищу на 25...30% у порівнянні з ВНВ аналогічного складу з кварцовим піском.

2. Виготовляти вказане в'язуче можна домолом портландцементу разом із золою виносу і суперпластифікатором до питомої поверхні 5500...6500 см<sup>2</sup>/г. При цьому для досягнення найнижчої водопотреби та максимальної активності в'язучого найбільш доцільним є використання суперпластифікатора полікарбонатного типу, зокрема Sika ViscoCrete 225, у кількості 0,5...0,7%.

3. При використанні цементно-зольного ВНВ для виготовлення бетонів досягається їх міцність понад 80 МПа, в тому числі для бетонних сумішей литої консистенції.

**1.** Цемент низкой водопотребности: новые результаты и перспективы / Юдович Б. Э. и др. // Цемент и его применение. – 2006. – Июль-август. – С. 80-84. **2.** Дворкін Л. Й., Основи бетонознавства / Дворкін Л. Й., Дворкін О. Л. – К.: Основа, 2007. – 616 с. **3.** Батраков В. Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика / В. Г. Батраков. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва, 1998. – 768 с. **4.** Бабаев Ш. Т. Основные принципы получения высокоэффективных вяжущих низкой водопотребности / Бабаев Ш. Т., Башлыков Н. Ф., Сердюк В. Н. // Промышленность строительных материалов. Сер.3. Промышленность сборного железобетона / ВНИЭСМ. – Москва, 1990 г. – Вып. 1. **5.** Владимир Сорокин. Ценные свойства вяжущих низкой водопотребности / Владимир Сорокин // Строительная газета. – № 11 от 18 марта 2005 г.

Рецензент: д.т.н., професор Дворкін О. Л. (НУВГП)