

УДК 691:66-96

**БЕТОНИ ТА БЕТОННІ ВИРОБИ НА СУЛЬФАТНО-ШЛАКОВОМУ
В'ЯЖУЧОМУ МОКРОГО ПОМЕЛУ**

**БЕТОНЫ И БЕТОННЫЕ ИЗДЕЛИЯ НА СУЛЬФАТНО-ШЛАКОВОМ
ВЯЖУЩЕМ МОКРОГО ПОМОЛА**

**CONCRETES AND CONCRETE GOODS ON THE BASIS OF SULFATE-
AND-SLAG BINDING WITH WET GRINDING**

**Миرونенко А. В., к.т.н., доцент, Полищук-Герасимчук Т. О., к.т.н., ст.
викладач.** (Національний університет водного господарства та
природокористування, м. Рівне)

**Миرونенко А. В., к.т.н., доцент, Полищук-Герасимчук Т. А., к.т.н., ст.
препод.** (Национальный университет водного хозяйства и
природопользования, г. Ровно)

**Myronenko A.V., candidate of technical sciences, associate professor,
Polishchuk-Herasymtchuk T.O., candidate of technical sciences, senior
lecturer.** (National University of Water Management and Nature Resources, Rivne)

**Наведені результати експериментальних досліджень важких (крупно- та
дрібнозернистих) та легких бетонів з використанням оптимального
вмісту добавки-суперпластифікатора С-3**

**Приведены результаты экспериментальных исследований тяжелых
(крупно- и мелкозернистых) и легких бетонов с использованием
оптимального содержания добавки-суперпластификатора С-3**

**The results of experimental researches of heavy (coarse- and small-grained)
and light concretes with use of optimal content of admixture-super-plasticizer
С-3 are offered**

Ключові слова:

Фосфогіпс, гіпсові в'язучі, вапно, дегідратація, математичне моделювання,
хімічний склад, гіперпластифікатори.

Фосфогипс, гипсовые вяжущие, известь, дегидратация, математическое
моделирование, химический состав, гиперпластификаторы.

Phosphogypsum, Gypsum binders, lime, dehydration, mathematical modeling,
chemical composition, hiperplastyfikatory.

Сульфатно-шлакове в'яжуче (СШВ) мокрого помелу є суттєво дешевшим у порівнянні із СШВ сухого помелу, в наслідок відсутності при його виробництві процесів сушки компонентів – доменного гранульованого шлаку та фосфогіпсу або гіпсового каменю. З метою забезпечення достатньої пластичності суспензії в'яжучого для максимально повного вивантаження її з млина після закінчення помелу, і збереженні при цьому мінімально можливої величини водо-в'яжучого відношення ($V/V_{ж} \leq 0,36$) для забезпечення високої міцності СШВ згідно з нашими дослідженнями [1] був використаний комплексний суперпластифікатор: Melflux 2561 у кількості 0,3 % від маси в'яжучого, а також 0,2 % ЛСТ, яке вводили з метою економії добавки Melflux 2561. При цьому міцність сульфатно-шлакового в'яжучого мокрого помелу становила 35...40 МПа.

Однак внаслідок високої вартості суперпластифікатора Melflux 2561 (понад 110 грн./кг), сумарна вартість запропонованого комплексного пластифікатора перевищувала 350 грн./т в'яжучого, тому в результаті подальших досліджень було встановлено, що необхідні пластичність суспензії та міцність СШВ до 45 МПа можуть бути досягненні шляхом використання добавки С-3 у кількості близько 2 % від маси в'яжучого. Вартість такої кількості С-3 не перевищує 200 грн./т в'яжучого.

Метою наших досліджень було визначення можливості отримання важких (крупно- та дрібнозернистих) бетонів, а також легких бетонів на керамзитовому ґравії з використанням оптимального вмісту добавки С-3.

Для проведення досліджень використано наступні компоненти: в якості доменного гранульованого шлаку – низькоглиноземистий доменний шлак Криворізького металургійного комбінату із вмістом Al_2O_3 - 6,47 %; відносно дешевий суперпластифікатор нафталіно-формальдегідного складу – С-3, та пластифікатор ЛСТ, інтенсифікатор твердіння в'яжучого - MgF_2 ; сульфатний компонент фосфогіпс-дигідрат ВАТ Рівне-Азот, вміст якого, згідно з даними [2] приймали 10 % від маси в'яжучого; лужний активізатор – негашене вапно. Виконаними раніше нашими дослідженнями [1, 2] була доведена можливість і доцільність використання для отримання СШВ низькоглиноземистих доменних гранульованих шлаків, зокрема українського виробництва. Тонкість мокрого помелу СШВ всіх складів була достатньо високою і характеризувалася відсутністю залишку на ситі №008 при просіюванні пасти СШВ. Після помелу для уникнення седиментації введено добавку ефіру целюлози – метилгідроксиетил «Tylose» виробництва фірми Clariant, Німеччина, у кількості 0,05 % від маси в'яжучого.

В якості заповнювачів для дрібнозернистого бетону використовували відсів подрібнення базальту Берестовецького кар'єру (Костопільський р-н, Рівненської обл.) з $D_{\max}=10$ мм та вмістом пиловидних фракцій до 10 %, для крупнозернистого важкого бетону – кварцовий пісок з $M_k=1,9$ Нетішінського кар'єру (Хмельницька обл.) та щебінь гранітний Кльосівського кар'єру (Рівненська обл.), для легких бетонів – поліфракційний керамзит з насипною

густиною 350 кг/м^3 і $D_{\text{макс}}=20$ мм виробництва республіки Молдова, тому в даному випадку дрібний заповнювач не використовували.

Для оцінки впливу факторів на міцність СШВ виготовляли стандартні зразки-куби (10×10 см), що тверділи на повітрі при нормальній температурі і вологості біля 100%.

З метою визначення кількісних характеристик впливу технологічних факторів на міцність СШВ та консистенції розчину для виготовлення зразків дослідження проводили шляхом виконання алгоритмізованих експериментів у відповідності з типовими планами B_2 та B_3 . На основі експериментальних даних отримано рівняння регресії.

Дрібнозернистий бетон на основі СШВ і відсіву подрібнення базальту. Умови планування експерименту представлені в табл. 1, рівняння регресії – в табл.2, графічні залежності – рис. 1. Суміш призначена для виготовлення стінових виробів, зокрема стінових каменів.

Характеристики матеріалів: СШВ вищевказаного складу з $V/V_{\text{ж}}=0,33$, у процесі варіювання факторами величину $V/V_{\text{ж}}$ змінювали шляхом додавання води до необхідної величини $V/V_{\text{ж}}$, суміш додатково містить 2% С-3 та 2% MgF_2 від маси в'язучого, максимальна крупність зерен відсіву – 10 мм, вміст пилу у відсві – 15 %. Загальну витрату сухих матеріалів коректували для забезпечення постійного об'єму суміші (1000л).

Таблиця 1

Умови планування експерименту B_2

Технологічні фактори		Рівні варіювання			Інтервал варіювання
Натуральний вигляд	Кодований вигляд	-1	0	+1	
Водо-в'язуче відношення ($V/V_{\text{ж}}$)	X_1	0,36	0,43	0,50	0,10
Співвідношення мас заповнювача і в'язучого (на сух. реч.), ($Z/V_{\text{ж}}$)	X_2	5	6	7	1

Таблиця 2

Рівняння регресії технологічних характеристик дрібнозернистого бетону

Вихідні параметри	Математичні моделі
Міцність при стиску у 28 діб, МПа	$Y_1=12,9 - 3,1X_1-2,3X_2+0,9X_1^2+1,1X_2^2- 1,7X_1X_2$
Осадка конуса бетонної суміші, см	$Y_2= 9,8+ 4,2X_1- 2,7X_2-1,6X_1^2+1,2X_2^2+0,7X_1X_2$

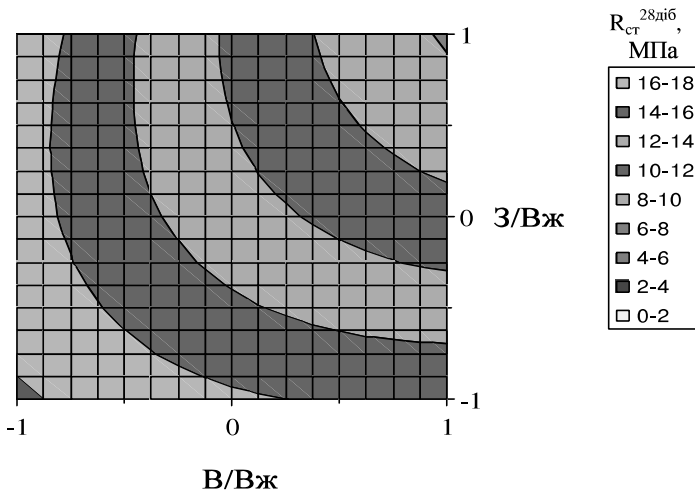


Рис.1. Вплив технологічних факторів на міцність при стиску у віці 28 діб дрібнозернистого бетону на основі сульфатно-шлакового в'язучого

Умови твердіння – температура $+20^{\circ}\text{C}$, вологість біля 100%.

Обидва технологічні фактори - водо-в'язуче відношення та співвідношення мас заповнювача і в'язучого негативно впливають на міцність при збільшенні їхнього значення (рис.1). При мінімальних значеннях факторів міцність дрібнозернистого бетону досягає 18,6 МПа, мінімальна міцність – 7,8 МПа. Рухливість бетонних сумішей зростає при збільшенні значення $V/V_{ж}$ та зменшенні $З/В_{ж}$. Достатній рівень міцності (понад 10 МПа) та рухливості (7...8 см) для виготовлення стінових виробів досягається при величині $V/V_{ж}$ біля 0,4...0,45 та $З/В_{ж}$ на рівні 6...7 (рис.1), при цьому витрата в'язучого мінімальна – 230...260 $\text{кг}/\text{м}^3$ на суху речовину.

Відмічений факт сповільненого твердіння бетонів у перші 2...3 доби після формування, внаслідок чого розпалублення виробів можливе також не раніше, ніж через 2...3 доби твердіння. Це явище можна пояснити використанням значної кількості добавки С-3, у складі якої можливі домішки лігносульфонатів, а також води у бетонних сумішах.

Важкий крупнозернистий бетон. Умови планування експерименту представлені в табл. 3, рівняння регресії – в табл.4, графічні залежності – рис. 2. Суміш призначена для виготовлення збірних бетонних конструкцій, зокрема фундаментних блоків, стінових каменів, а також монолітних бетонних конструкцій.

Використані аналогічні СШВ та добавки, а також вищевказані заповнювачі – пісок та щебінь. Умови твердіння – такі ж як і для дрібнозернистого бетону.

Таблиця 3

Умови планування експерименту В₃

Технологічні фактори		Рівні варіювання			Інтервал варіювання
Натуральний вигляд	Кодований вигляд	-1	0	+1	
Водо-в'язуче відношення (В/В _ж)	X ₁	0,30	0,33	0,36	0,03
Вміст суперпластифікатора С-3, %	X ₂	1,5	2,0	2,5	0,5
Вміст пластифікатора ЛСТ, %	X ₃	0	0,1	0,2	0,5

Таблиця 4

Рівняння регресії технологічних характеристик крупнозернистого бетону

Вихідні параметри	Математичні моделі
Міцність при стиску у 28 діб, МПа	$Y_1 = 35,7 - 7,1X_1 + 4,2X_1 - 2,9X_3 - 1,1X_1^2 + 1,2X_1^2 + 1,5X_3^2 - 1,2X_1X_2 - 2,2X_1X_3 + 1,1X_2X_3$
Осадка конуса бетонної суміші, см	$Y_2 = 10,8 + 3,5X_1 + 2,1X_2 + 1,2X_3 - 0,7X_1^2 - 0,8X_2^2 - 0,6X_3^2 + 1,7X_1X_2 + 0,9X_1X_3 + 0,4X_2X_3$

Як видно з табл. 4 та рис. 2 за впливом на міцність фактори можна розташувати у ряді: X₁ > X₂ > X₃, при цьому збільшення величини В/В_ж та вмісту пластифікатора ЛСТ негативно впливають на міцність, а збільшення вмісту суперпластифікатора С-3 – позитивно. Відомо, що ЛСТ при відносно малій пластифікуючій здатності, уповільнює тужавлення СШВ [2, 3], в той час, як суперпластифікатор С-3 таких негативних властивостей не має. Максимальна міцність крупнозернистого бетону в межах експерименту досягає 48,2 МПа, мінімальна - 19,8 МПа.

На величину осадки конусу всі три фактори впливають позитивно і за величиною впливу їх можна розташувати у вищенаведеному порядку. Максимальна осадка конусу в межах експерименту досягає 18,5 см, мінімальна – 4,9 см, що свідчить про широкі можливості регулювання рухливості суміші і можливість отримувати як литі суміші з міцністю бетону до 25 МПа, так бетони з міцністю понад 40 МПа при рухливості суміші до 10 см (рис. 2). Розпалублення виробів з важкого крупнозернистого бетону

можливе через 1...3 доби твердіння, цей строк зростає при збільшенні величин $V/V_{ж}$ та вмісту ЛСТ.

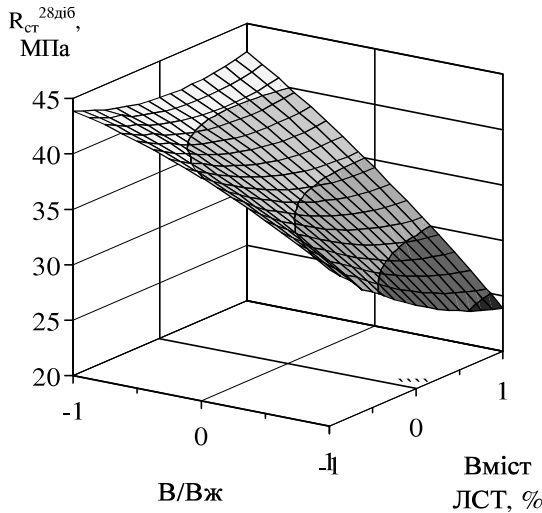
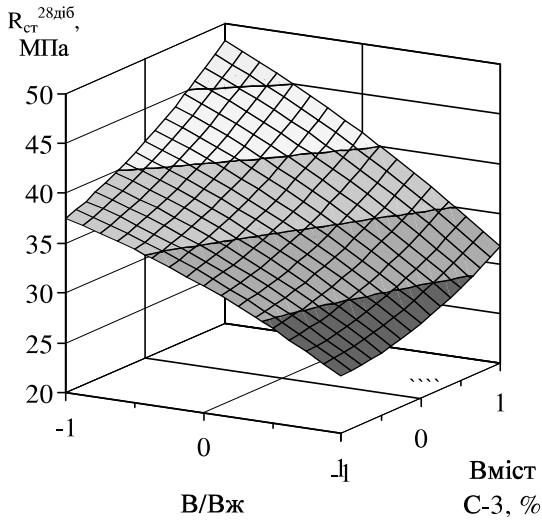


Рис.2. Вплив технологічних факторів на міцність при стиску у віці 28 д\text{б} важкого крупнозернистого бетону на основі сульфатно-шлакового в'язучого

Керамзитобетон. Умови планування експерименту представлені в табл. 5, рівняння регресії – в табл.6, графічні залежності – рис. 3. Керамзитобетон може бути використаний для виготовлення збірних бетонних конструкцій, зокрема внутрішніх панелей та перегородок, стінових каменів, а також монолітних бетонних конструкцій.

Використані аналогічні СШВ та добавки, а також вищевказані заповнювач – керамзитовий гравій. Умови твердіння – такі ж як і для дрібнозернистого бетону.

Таблиця 5

Умови планування експерименту B_3

Технологічні фактори		Рівні варіювання			Інтервал варіювання
Натуральний вигляд	Кодований вигляд	-1	0	+1	
Вміст СШВ мокрого помелу, кг/м^3	X_1	300	400	500	100
Вміст керамзитового гравію КГ-350, кг/м^3	X_2	350	400	450	50
Вміст інтенсифікатора твердіння MgF_2 , %	X_3	0	1	2	1

Таблиця 6

Рівняння регресії технологічних характеристик керамзитобетону

Вихідні параметри	Математичні моделі
Міцність при стиску у 28 діб, МПа	$Y_1 = 9,1 + 2,9X_1 - 1,9X_2 + 2,0X_3 - 1,1X_1^2 + 0,4X_2^2 - 0,8X_3^2 - 0,6X_1X_2 + 1,4X_1X_3 - 0,3X_2X_3$

Міцність керамзитобетону згідно з отриманими даними зростає при збільшенні вмісту в'язучого та добавки MgF_2 і зменшується при зростанні вмісту керамзитового гравію. В цілому за впливом на міцність фактори можна розташувати у ряді: $X_1 > X_3 > X_2$. Вплив інтенсифікатора твердіння MgF_2 відносно мало залежить від його вмісту в межах 1 або 2 % (рис. 3), таким чином для забезпечення необхідного ефекту збільшення міцності можна обмежитись 1% MgF_2 . В межах експерименту міцність керамзитобетону коливається в межах 1,3...17,7МПа (рис. 3), що свідчить про доцільність використання цього бетону для вищевказаних конструкцій та виробів. Розпалублення виробів з керамзитобетону також можливе через 1...3 доби твердіння, цей строк зростає при збільшенні вмісту керамзитового гравію.

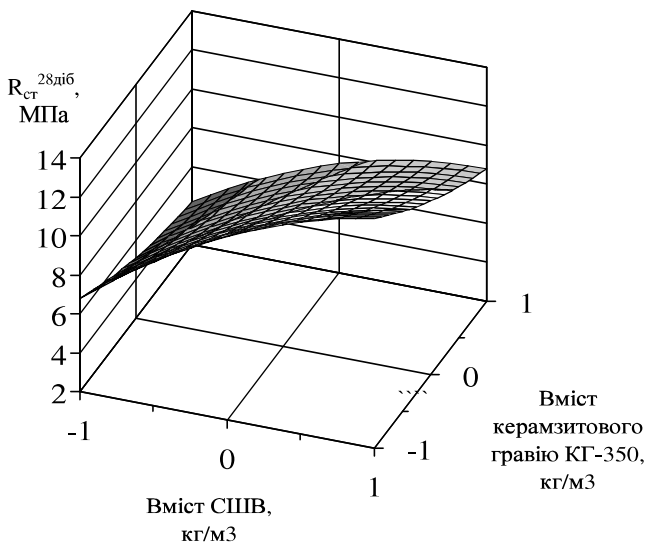


Рис.2. Вплив технологічних факторів на міцність при стиску у віці 28 діб важкого керамзитобетону на основі сульфатно-шлакового в'язучого

Висновки. Проведені дослідження підтвердили можливість отримання широкої гами бетонів та виробів на основі СШВ мокрого помелу з використанням відносно дешевої добавки - суперпластифікатора С-3. При необхідності швидкого розпалублення виробів – через 1 добу або раніше, необхідно використовувати малорухливі бетонні суміші чи застосовувати теплову обробку виробів [3].

1. Спосіб приготування сульфатно-шлакового в'язучого./Л. Й.Дворкін, О. Л.Дворкін, А. В.Мироненко, Т. О.Поліщук-Герасимчук, Ю. А.Тхор. - Патент на корисну модель № 64566 на винахід, Україна, Бюл. №21, 10.11.2011 р.
2. Сульфатно-шлакові в'язучі: сучасний стан і нові можливості /Л.Й. Дворкін, А.В. Мироненко, О.Л. Дворкін, М.Г. Кундос. - Науковий вісник будівництва. Вип. 59. – Харківське обласне територіальне відділення Академії будівництва України, ХДТУБА, 2010. – с.131 -138.
3. Важкі і легкі бетони на сульфатно-шлаковому в'язучому./Л.Й.Дворкін, О.Л.Дворкін, А.В.Мироненко, М.Г.Кундос. - Состояние современной строительной науки-2010. Материали УІІ міжнародно практичної Інтернет-конференції. Сборник научных трудов.-Полтава: Полтавский ЦНТЭИ.-2010. С. 76 – 78.