

Розділ 2

КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ ТУГОПЛАВКИХ НЕМЕТАЛІЧНИХ І СИЛІКАТНИХ МАТЕРІАЛІВ (МАТЕРІАЛИ, ТЕХНОЛОГІЇ, ОБЛАДНАННЯ, ВИРОБИ)

УДК 666.973.6

КОНСТРУКЦІЙНІ ЕЛЕМЕНТИ НА ОСНОВІ НІЗДРЮВАТИХ БЕТОНІВ ЗІ СКЛОЦЕМЕНТНИМ АРМУВАННЯМ

Ігор Глуховський, к. т. н., доц.,
Владислав Глуховський, к. т. н., доц.,
Ольга Тупиця

КПІ ім. Ігоря Сікорського

Анотація. Встановлені експлуатаційних характеристик склоцементних композицій, що твердіють у нормальних умовах та показана можливість виготовлення ніздрюватих стінових елементів, армованих скловолокнистою арматурою.

Ключові слова: склоцементні композити, ніздрюваті бетони, стінові конструкційні елементи, скляне волокно, портландцемент, лужний цемент.

Abstract. The operational characteristics of glass-cement compositions that harden under normal conditions have been established. The possibility

of manufacturing slotted wall elements reinforced with fiberglass reinforcement is shown.

Key words: glass cement composites, aerated concrete, wall structural elements, glass fiber, Portland cement, alkaline cement.

Ефективність будівельного виробництва забезпечується не тільки при використанні ефективних будівельних матеріалів, а і завдяки використанню ефективних будівельних технологій, що передбачає суттєве скорочення термінів зведення будівель. На сучасному етапі розвитку будівельна галузь, у більшості випадків, відмовилась від використання крупних огорожуючих конструкцій у вигляді стінових панелей які широко використовувалися у 70–80 роках минулого століття та забезпечували високу швидкість виконання будівельно-монтажних робіт. Основною причиною відмови від використання крупних стінових огорожуючих конструкцій є їх незадовільні теплотехнічні характеристики, які не в змозі забезпечити виконання вимог щодо теплової ізоляції будівель.

Сучасні промислові виробництва автоклавного ніздрюватого бетону поставляють на ринок стінові дрібні блоки хоча, і самою технологією, і діючими технічними та нормативними документами [1; 2] передбачена можливість виробництва крупних армованих конструкційних елементів з ніздрюватого бетону. Відсутність на ринку цього виду виробів з ніздрюватих бетонів пояснюється тим, що, на відміну від стінових панелей на основі важких бетонів, довговічність армуючого каркасу яких забезпечується лужним середовищем щільного цементного каменю та захисним шаром конструкційного елемента, при використанні в якості базового матеріалу ніздрюватого бетону, армуючий каркас повинен бути захищений спеціальними покриттями [1], що суттєво ускладнює технологію та знижує рентабельність виробництва таких виробів. Заміна металевого арматурного каркасу на аналогічні вироби, що не потребують нанесення захисних покриттів [3] дозволяла вирішити вказану проблему, але зараз роботи в цьому напрямі не проводяться.

Виготовлення ніздрюватих бетонів за технологією яка не передбачає використання високотемпературних процесів [4], дозволяє запропонувати для сприйняття розтягуючих навантажень, які виникають у виробках великого розміру в процесі їх виготовлення та транспортування, склоцементних композиційних елементів.

Метою досліджень, результати яких наведені у цьому повідомленні є визначення експлуатаційних характеристик склоцементних композицій, що твердіють у нормальних умовах та встановлення можливості виготовлення ніздрюватих стінових елементів, армованих скловолкнистою арматурою.

Для реалізації мети досліджень були використані попередні дослідження авторів з розробки технології виготовлення ніздрюватих бетонів, які твердіють у нормальних умовах [4]. Основні фізико-механічні характеристики таких бетонів наведені в табл. 1.

При вивченні процесів формування структури склоцементних композицій використовувалися композиції на основі портландцементу та на основі лужного цементу. В якості армуючого компоненту використовувалися скляні волокна алюмоборосилікатного складу. Кінетика зміни в часі рівня міцності склоцементних композицій наведена на рис. 1.

Таблиця 1 – Фізико-механічні характеристики
ніздрюватих бетонів нормального тверднення

Марка бетону за середньою густиною	Максимальне значення класу бетону за міцністю при стиску (марка) за ДСТУ Б В.2.7-45 для безавтоклавного бетону	Міцність при стиску, МПа, ніздрюватого бетону нормального твердіння у віці		
		7 діб	28 діб	360 діб
На основі портландцементу				
Д600	В 2 (М25)	3,4	3,8	4,1
Д700	В 2,5 (М35)	5,2	5,6	5,9
Д800	В 3,5 (М50)	6,9	7,7	8,1
На основі лужного цементу				
Д500	В 1 (М15)	3,3	4,1	5,2
Д600	В 2 (М25)	3,6	4,5	5,5
Д700	В 2,5 (М35)	5,4	6,3	6,8

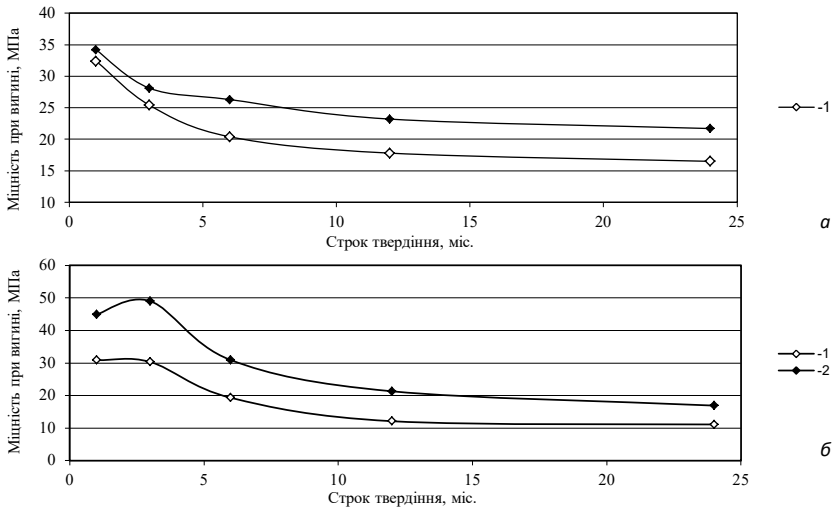


Рисунок 1 – Кінетика зміни міцності при вигині склоцементних композицій на основі портландцементу (а) і лужного в'язучого (б) і захищеного (1) та захищеного (2) волокна алюмоборосилікатного складу

За результатами досліджень було встановлено, що рівні міцності склоцементних композицій відповідають вимога до значень нормативних та розрахункових показників міцності склоцементних композицій, які рекомендовано для розрахунку панелей з комбінованим армуванням, значення яких наведені в табл. 2.

Розрахунок панелі було виконано з урахуванням наступних положень:

– під дією технологічних навантажень, які виникають при розпалублюванні, транспортуванні та монтажу, панель сприймає навантаження при вигині;

– оскільки, у відповідності до вимог нормативних документів, у бетоні конструкцій, які поставляються замовнику, наявність тріщин не допускається, у зв'язку з чим в панелях, що армовані скловолокном не допускається утворення тріщин під дією технологічних навантажень.

– при частковому або повному замініні скловолокном сталльної арматури, яка призначена для сприйняття технологічних навантажень, виріб вважається комбіновано армованим, тому розрахунок комбіновано армованих виробів здійснюється без урахування впливу сталльної арматури.

Таблиця 2 – Нормативні (R_{gctn}) та розрахункові (R_{gct}) значення опору при розтягненні, МПа, та значення початкового модулю пружності, МПа

Марка армуючого компоненту	Значення опору при розтягненні одного шару склоцементної композиції				Початковий модуль пружності при розтягненні (E_{gc})
	нормативне (R_{gctn}) при твердінні		розрахункове (R_{gct}) при твердінні		
	нормальні умови	пропарювання	нормальні умови	пропарювання	
РБР 10-2400	4,85	3,45	3,20	2,30	31
РБР 13-2640	5,05	3,60	3,40	2,40	34

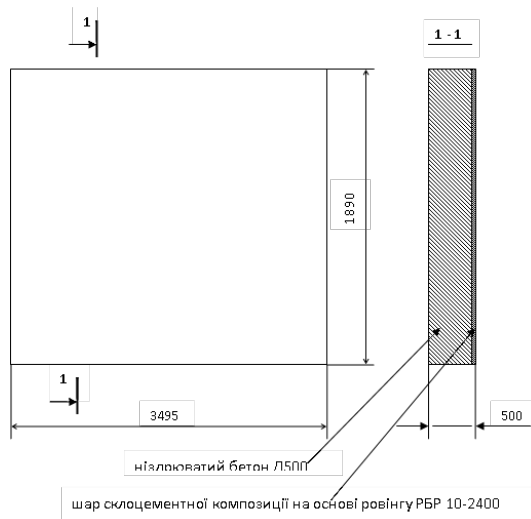


Рисунок 2 – Конструкція стінової панелі з ніздрюватого бетону з технологічним армування на основі скляного ровінгу РБР 10-2400

ВИСНОВКИ

Виконані результати розрахунку стінової панелі на основі нідруюватого бетону з технологічним армуванням (рис. 2) вказують на те, що напруження, які виникають в конструкції від технологічних навантажень, суттєво нижчі, ніж значення нормативних характеристик склоцементних композицій, що використані в якості технологічної арматури.

Список літератури

1. СН 277-80 Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона.
2. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из ячеистых бетонов (к СНиП 2.03.01-84). Москва : Стройиздат, 1985. 72 с.
3. Ячеистобетонные изделия состеклянной арматурой / Пащенко А. А., Сербин В. П., Глуховский В. В., Михайлишина Н. З. *Вестник КПИ. Химическое машиностроение и технологии*. Вып. 28. Киев, 1991. С. 60–61.
4. High-strength heat-insulating composites / Dashkova T. S., Sviderskyi V. A., Glukhovskiy V. V., Glukhovskiy I. V. *Будівельні матеріали та вироб.* Київ, 2017. № 2-3. С. 18–24.

UDC 666

USAGE OF SPECIFIC TERMINOLOGY AND THEIR INTERPRETATION IN MODERN STUDIES OF PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS – A REVIEW

Yurii Kovalenko,
Volodymyr Tokarchuk, PhD, As. Prof
Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute

Abstract. Quality of cement based composites such as concrete, stucco, dry mixes etc., are characterized by definition of their physical characteristics.

Mostly they are: mechanical, water retention, work time, setting time and rheology. In recent studies most of the characteristics of composites divided into groups that received common name. Strength based studies, durability etc. are relate to the physical-mechanical properties. Whilst some authors relate setting time, workflow, consistency and etc. to the rheological properties. This paper presents review and comparison of different works on question of modern determination by studies on definition of the terminology for physical and rheological properties.

Key words: composite materials, cement, concrete, terminology, rheological properties, physical properties.

Usage of cement based composite materials widely connected to their durability to withstand high mechanical pressure in the solid state. Yet, to achieve aforementioned constructional strength the composites must be prepared with abundance to the physical and rheological characteristics for slurry of paste of cement based composite.

Most characteristics as compressive strength, water retention, working time (setting time) are mentioned as physical-mechanical properties and flowability is rheological property for composites [1]. Thus terminology and methodics remained unchanged for long period since by authors [2] and later by [3] in their studies comes to the conclusion that rheology, setting, hydration is connected and have influence on the each other [2]. Thus in a review [3], authors mention this connection and therefore widen the area for methods for studying the rheology by including workability (setting time) and stability (water retention).

Furthermore, to the rheology on cement compositions by authors [4–5] were included drainage tests [4] that described ability for cement pastes (as for stucco) to retain and separate water in modified compositions [5]. There also conclusion in the review [5] wich include other studies on rheology properties of the cement based fiber modified composites, that mentioning shrinkage as rheological property.

CONCLUSIONS

The definition of what rheological studies are in the question of the related methods that are performed in determination of properties for cement based compositions are connected to the physical-mechanical studies as mentioned in review. Moreover, some methods

that are related to the physical studies of cement composites can be related to rheological as well.

References

1. Persson, B. (2001). A comparison between mechanical properties of self-compacting concrete and the corresponding properties of normal concrete. *Cement and concrete Research*, 31 (2), 193–198. URL: [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(00\)00497-X](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00497-X)
2. Björnström, J., & Chandra, S. (2003). Effect of superplasticizers on the rheological properties of cements. *Materials and Structures*, 36, 685–692. URL: <https://doi.org/10.1007/BF02479503>
3. Jiao, D., Shi, C., Yuan, Q., An, X., Liu, Y., & Li, H. (2017). Effect of constituents on rheological properties of fresh concrete-A review. *Cement and concrete composites*, 83, 146–159. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2017.07.016>
4. Xie, X., Zhang, T., Yang, Y., Lin, Z., Wei, J., & Yu, Q. (2018). Maximum paste coating thickness without voids clogging of pervious concrete and its relationship to the rheological properties of cement paste. *Construction and Building Materials*, 168, 732–746. URL: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.02.128>
5. Wang, W., Shen, A., Lyu, Z., He, Z., & Nguyen, K. T. (2021). Fresh and rheological characteristics of fiber reinforced concrete A review. *Construction and Building Materials*, 296, 123734. URL: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123734>

УДК 691.542:666.9.022

АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ В ХІМІЧНІЙ ТЕХНОЛОГІЇ ЦЕМЕНТУ

Наталія Дорогань, к. т. н.,
Лев Черняк, д. т. н., проф.,
Тетяна Носанчук

КПІ ім. Ігоря Сікорського

Анотація. Досліджено можливість виготовлення цементу з застосуванням золи виносу ТЕС як компоненту вихідної сировинної суміші. Із застосуванням комп'ютерної програми «Клінкер» проведено розрахунки та аналіз можливого вмісту вказаних відходів в суміші на основі системи вапняк-глина. Визначено склад суміші з вмістом 8,5 мас. % золи виносу. Показано особливості формування фазового складу при випалі з максимальною температурою 1400 °С та властивостей мінерального в'язучого.

Ключові слова: цемент, зола виносу, суміш сировинна, склад, випал, фази кристалічні, властивості.

Abstract. The possibility of making cement with the use of TPP fly ash as a component of the raw material mixture was studied. Calculations and analysis of the possible content of the specified waste in the mixture based on the limestone-clay system were carried out using the "Clinker" computer program. The composition of the mixture with a content of 8.5 wt. % fly ash was determined. The peculiarities of the formation of the phase composition during firing at a maximum temperature of 1,400 °C and the properties of the mineral binder are shown.

Key words: cement, fly ash, raw mix, composition, crystalline phases, properties.

Вступ. Питання розширення сировинної бази виробництва силікатних матеріалів є предметом численних досліджень, при цьому наголос робиться на залученні в технологічні процеси відходів інших галузей промисловості як техногенної сировини [1–5]. Вирішення цього проблемного питання потребує відповідного розвитку науково-технічних засад хімічної технології силікатів

із визначенням закономірностей щодо впливу концентрації різновидів техногенної сировини на структуроутворення та властивості силікатних матеріалів [6–9].

Експериментальна частина. Об'єктом дослідження в даній роботі стала зола-виносу Бурштинської ТЕС та сировинні суміші з її застосуванням для виготовлення портландцементного клінкеру. Такий вибір обумовлюється можливістю розвитку технології портландцементу з дотриманням вимог ресурсозбереження по утилізації відходів промисловості.

Як карбонатний компонент застосовували вапняк Дубовецького родовища Івано-Франківської обл., як кремнезем- і глиноземвмісні компоненти – глину Кривинського родовища Рівненської обл. і золу-виносу Бурштинської ТЕС (Івано-Франківська обл.).

Хіміко-мінералогічний склад сировини

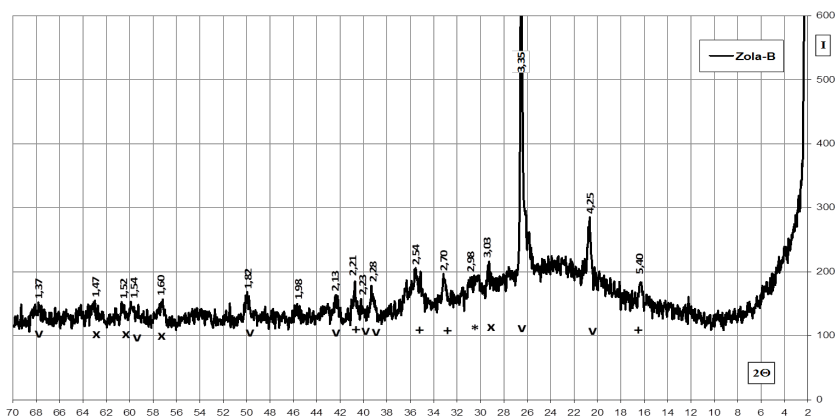
Встановлено особливості хіміко-мінералогічного складу досліджуваної сировини (табл. 1). За хімічним складом досліджувана зола-виносу із вмістом, мас. %: 46,12 SiO_2 і 4,03 CaO належить до типу кремнеземних або кислих. Від кривинської глини проба золи-виносу відрізняється дещо більшим вмістом Al_2O_3 (18,0 проти 15,6 мас. %) при суттєво меншому вмісті SiO_2 та співвідношенні $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ (2,6 проти 3,9), значно більшим вмістом Fe_2O_3 .

Таблиця 1 – Хімічний склад сировини

Сировина	Вміст оксидів, мас. %									
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	SO_3	Na_2O	K_2O	в. п. п.
Вапняк	3,13	0,06	1,05	—	52,82	0,52	0,10	—	—	42,32
Глина	60,96	15,66	5,57	0,79	3,33	2,04	0,16	0,30	2,70	8,48
Зола-виносу	46,12	18,00	22,17	1,78	4,03	1,46	0,21	—	2,10	1,49

Наявність 2,5 мас. % вуглецю вказує на залишкову теплотворну здатність, підвищений вміст оксидів заліза обумовлює можливість зменшення максимальної температури спікання, що важливо для зменшення питомих витрат палива при випалі сировинних сумішей.

Аналіз мінералогічного складу досліджуваної сировини, проведений з застосуванням дифрактометра ДРОН-3, показав, що дубовецький вапняк характеризується превалюючим вмістом кальциту з домішками доломіту і кварцу, кривинська глина відноситься до групи полімінеральних і відзначається підвищеним вмістом монтморилоніту, кварцу і польових шпатів, зола-виносу відзначається наявністю склофази та кристалічних фаз, головним чином – кварцу, муліту (рис. 1).



v-кварц, + -муліт, x-кальцит

Рисунок 1 – Дифрактограма золи виносу

Визначення складу сировинної суміші

Розрахунки та аналіз складу сировинних сумішей для виготовлення цементного клінкеру проводили з використанням створеної комп'ютерної програми «КЛІНКЕР» [10]. Це дозволило оперативно визначити раціональні співвідношення компонентів у вихідній сировинній суміші за заданими значеннями коефіцієнту насичення **КН** та кремнеземного **n** модулю.

За результатами комп'ютерних розрахунків у сумішах на основі системи вапняк-глина-зола виносу в інтервалі значень коефіцієнта насичення $КН=0,80-0,95$ можливий вміст золи виносу становить від 2,8 до 10,4 мас. % (рис. 2). При цьому очевидно, що можливий

вміст досліджуваних відходів зменшується із збільшенням заданих значень **КН** і **n**.

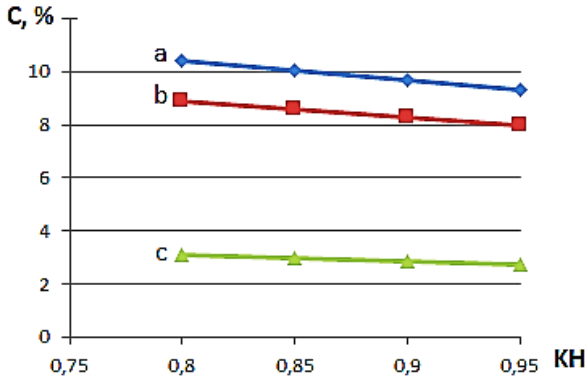


Рисунок 2 – Залежність вмісту золи виносу (С) в суміші на основі системи вапняк – глина від коефіцієнту насичення КН клінкеру при кремнеземному модулі $n=1,9$ (а), $n=2,0$ (b) і $n=2,5$ (c)

Для подальшого дослідження було обрано сировинну суміш 10Т, що при $КН=0,85$ відповідає рекомендованим значенням кремнеземного $n=2,0$ та глиноземного $p=1,0$ модулів характеризується вмістом 8,5 мас. % відходів теплоенергетики (табл. 2).

Таблиця 2 – Склад сировинної суміші

Код суміші	Вміст компонентів, мас. %		
	вапняк	глина	зола виносу
10Т	79,0	12,5	8,5

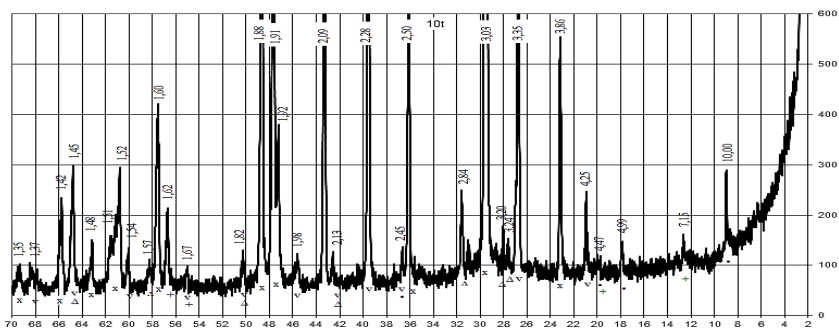
За хімічним складом досліджувана суміш характеризується кількісними співвідношеннями оксидів $SiO_2:Al_2O_3=3,9$, $CaO:SiO_2=2,9$, $CaO:Al_2O_3=11,3$ при вмісті оксидів заліза 3,6 % (табл. 3). Вказані особливості хімічного складу багато в чому визначають вірогідність фазових перетворень при термічній обробці суміші та властивості матеріалу після випалу.

Таблиця 3 – Хімічний склад сировинної суміші

Назва проби	Вміст оксидів, мас. %							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	в.п.п	сума
10Т	14,70	3,75	3,60	42,42	0,81	0,12	34,60	100,0

Фазоутворення при випалі та властивості цементу

Результати рентгенофазового аналізу показують особливості фазових перетворень при випалі досліджуваної сировинної суміші (рис. 3, 4). Очевидно, що вихідна суміш характеризується переважним вмістом кальциту та кварцу з наявністю домішок гідрослюди, каолініту і польових шпатів.



x-кальцит, v-кварц, +-каолініт, •-гідрослюда, Δ-польовий шпат, λ-доломіт

Рисунок 3 – Дифрактограма проби 10Т

Після випалу на максимальній температурі 1400 °С має місце повне руйнування кристалічних ґраток вказаних породотворюючих мінералів сировинних компонентів, утворення нових кристалічних фаз та склофаз. Клінкер із суміші 10Т характеризується переважним розвитком C₂S при суттєво меншому C₃S, певним розвитком алюмо- і залізовмісних фаз, в тому числі C₂F за характерними рефlekсами 4,88, 2,05 Å.

За результатами технологічних тестувань після випалу на максимальну температуру 1400 °С згідно класифікації ДСТУ Б В.27-91-99 «В'язучі мінеральні» отриманий матеріал відносяться до групи середньої міцності (30–50 МПа),

а за швидкістю тужавлення – до групи швидкоутужавіючих (термін початку від 15 до 45 хв), характерними представниками якої вважаються ангідритовий і глиноземистий цемент (табл. 4).

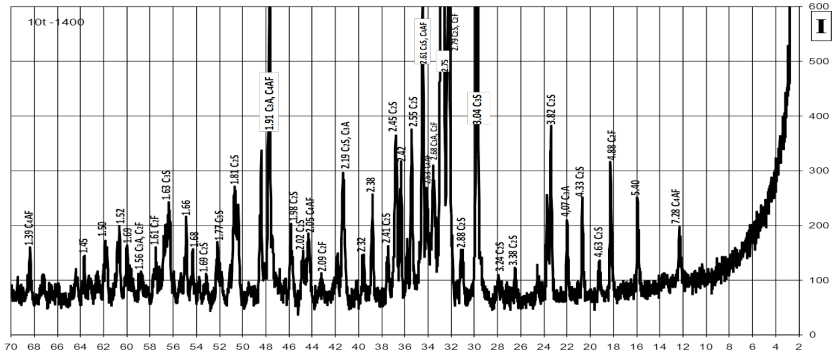


Рисунок 4 – Дифрактограма проби клінкеру 10Т

Таблиця 4 – Властивості цементу

Код проби	Температура випалу, °С	Терміни тужавлення		Міцність на стиск, МПа	
		початок, хв	кінець, год	2 доби	28 діб
10Т	1400	30	11,5	9	34,0

ВИСНОВКИ

1. Використання багатотоннажних відходів промисловості – золи виносу ТЕС як техногенної сировини є перспективним у масоємному виробництві мінеральних в’язучих матеріалів.

2. Аналіз комп’ютерних розрахунків та експериментів свідчать про можливість введення 3–10 мас. % вказаних відходів як компонента вихідної суміші для виготовлення цементу на основі традиційної системи вапняк-глина.

3. Збільшення об’ємів утилізації відходів як техногенної сировини має базуватися на розробці та впровадженні нових складів сировинних сумішей, що є метою подальших досліджень.

Список літератури

1. Пашенко А. А., Мясникова Е. А., Евсютин Е. Р. Энергосберегающие и безотходные технологии получения вяжущих веществ. Київ : Вища шк., 1990. 223 с.
2. Allen, D. T., Benmanesh, N. Wastes as Raw Materials. The Greening of Industrial Ecosystems. Washington: National Academy Press, 1994. P. 69–89.
3. Дворкин Л. И., Дворкин О. Л. Строительные материалы из отходов промышленности : учебно-справочное пособие. Ростов н/Д : Феникс. 2007. 363 с.
4. Шабанова Г. М., Кисельова С. О., Шапка О. В. Використання промислових відходів при виготовленні силікатної цегли – шлях до поліпшення екологічної обстановки. Коммунальное хозяйство городов. Харьков : Основа, 2010. Вып. 91. С. 250–255.
5. Lev Chernyak. Industrial waste as a factor of increasing the chemscal resistance of ceramics. Zastita Materijala, 2022. Vol. 63 (2). P. 177–182.
6. Ресурсозбереження і сировинні матеріали силікатних виробництв / В. А. Свідерський, Л. П. Черняк, В. Г. Сальник, В. М. Пахомова, О. О. Сікорський. Навчальний посібник. Київ : КПІ вид-во Політехніка», 2015. 92 с.
7. Ashraf, Teara, Doh, Shu Ing and Vivian, WY Tam. The use of waste materials for concrete production in construction applications – IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 342, conference 1.
8. Черняк Л. П. Особливості структуроутворення дисперсних систем у технології портландцементу. *Технологический аудит и резервы производства*. 2013. Т. 6. № 5 (14). С. 8–10.
9. Chernyak, L., Sviderskyu, V., Tokarchuk, V., Dorogan, N. To the Question of Structure Formation of Dispersed Systems in Cement Technology. *World Journal of Applied Chemistry*, 2020. Vol. 5. Is. 3. P. 41–46.
10. Програмне забезпечення технології портландцементу / В. А. Свідерський, Л. П. Черняк, Н. О. Дорогань, А. С. Сорока. *Строительные материалы и изделия*. Киев, 2014. № 1 (84). С. 16–17.

УДК 678.046(031)54:66.022.32

АНАЛІЗ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОВЕРХНІ НАПОВНЮВАЧІВ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ

Любов Мельник, к. т. н., доц.,

Євгеній Рогізний

КПІ ім. Ігоря Сікорського

Анотація. Об'єктом дослідження стали дисперсні наповнювачі: андезит, цеоліт, перліт, зола виносу Бурштинської та Курахівської ТЕС, червоний шлам та червоний шлам випалений з додаванням 20 мас. % глини. Визначено густину дослідних наповнювачів і встановлено, що вона варіюється від 1,82 до 3,14 г/см³. Насипна густина змінюється в межах від 0,81 до 1,42 г/см³. Всі дослідні наповнювачі є гідрофільними, максимальний кут змочування є 83°, зафіксовано для цеоліту, який в свою чергу має найнижчу поверхневу енергію 33,07 Дж/м².

Ключові слова: наповнювач, пікнометрична густина, кут змочування, поверхнева енергія.

Abstract. The object of the research was dispersed fillers: andesite, zeolite, perlite, fly ash from the Burshtyna and Kurakhivskaya thermal power stations, and pure and fired red mud with the addition of 20 wt. % clay.

The pycnometric density of the experimental fillers was determined and found to vary from 1.822 to 3.145 g/cm³. Bulk density varies from 0.805 to 1.422 g/cm³. All experimental fillers are hydrophilic, the maximum wetting angle is 83°, recorded for zeolite, which in turn has the lowest surface energy of 33.07 J/m².

Key words: filler, pycnometric density, wetting angle, surface energy.

Наповнювачі в композиційних матеріалах використовуються для підвищення їх фізико-механічних властивостей. Введення наповнювачів до складу полімерного композиційного матеріалу (ПКМ) може покращити їх жорсткість, міцність, ударну в'язкість, термостабільність та інші наперед задані характеристики. Наповнювачі можуть бути введені до матриці в різних формах, таких як дисперсні частинки, волокна, нитки, нанотрубки, пластини та тканини.

Найбільш вживаними наповнювачами в композитах є волокна, що забезпечують армуючі властивості матриці та підвищують міцність та жорсткість. Однак, полімерні композиційні матеріали армовані волокнами мають анізотропію властивостей, тому викликає інтерес дослідження дисперсних наповнювачів зокрема вулканічного (перліт, цеоліт, андезит) та техногенного походження (червоний шлам, зола). Саме дослідженням властивостей даних наповнювачів і присвячена дана стаття.

Об'єктом дослідження стали дисперсні наповнювачі такі як: андезит, цеоліт, перліт, зола виносу Бурштинської (зола Б) та Курахівської (зола К) ТЕЦ та червоний шлам (ЧШ) – багатотонажні відходи виробництва глинозему ПрАТ «Запорізький алюмінієвий комбінат» та він же випалений з додаванням 20 мас. % глини (ЧШГ).

Методика роботи передбачала визначення кута змочування вказаних наповнювачів та розрахунок їх поверхневої енергії.

Поверхнева енергія є важливим фактором у визначенні змочування матеріалу рідинами. Це енергія, необхідна для створення одиниці площі нової поверхні матеріалу. Кут змочування є ще одним важливим фактором, який визначає ступінь контакту рідини з твердою поверхнею.

Дисперсні наповнювачі техногенного та вулканічного походження можуть мати різну поверхневу енергію та кути змочування залежно від їх хімічного складу та характеристик поверхні. Наприклад, полярні наповнювачі, такі як кремнезем і глини, як правило, мають вищу поверхневу енергію та нижчі контактні кути змочування з полярними рідинами, такими як вода, тоді як неполярні наповнювачі, такі як сажа, як правило, мають нижчу поверхневу енергію та вищі контактні кути змочування з неполярними рідинами, такими як масла.

Поверхневу енергію дисперсних наповнювачів можна визначити, вимірявши кут змочування краплі рідини на поверхні наповнювача. Кут змочування, також відомий як контактний кут – це кут, утворений між дотичною до поверхні розділу рідина–тверде тіло та дотичною до поверхні твердого тіла в точці контакту краплі (рис. 1).

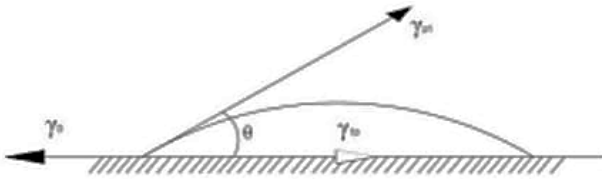


Рисунок 1 – Крапля рідини (зв'язуючого) на твердій поверхні

Змочування наповнювача полімерним зв'язуючим – необхідний етап виготовлення будь якого ПКМ.

Тож визначення даного параметра є досить важливим, його здійснювали по воді за допомогою рівняння Уошбурна:

$$\frac{h^2}{t} = \frac{r \times \sigma \times \cos \Theta}{2\eta}, \quad (1)$$

де h – висота капілярного підняття, м; t – час підняття, с; r – радіус капіляру, м; $\cos \Theta$ – косинус кута змочування; η – динамічна в'язкість змочувальної рідини, Па·с; σ – поверхневий натяг рідини, що змочує порошок, Н·м.

Перетворюючи це рівняння отримуємо:

$$\frac{2\eta \times h^2}{r \times \sigma \times t} = \cos \Theta. \quad (2)$$

Виходячи зі значення $\cos \Theta$ розраховували поверхневу енергію дослідних наповнювачів за рівнянням Юнга, результати наведені в табл. 1.

Як свідчать результати досліджень пікнометрична густина для дослідних зразків знаходиться в межах від 1,822 до 3,145 г/см³ і збільшується в ряду: зола Б < цеоліт < андезит < перліт < зола К < ЧШГ < ЧШ.

Разом з тим насипна густина змінюється в межах від 0,805 до 1,422 г/см³ і має дещо іншу залежність: ЧШГ < Зола К < Цеоліт < Зола Б < Перліт < ЧШ < Андезит.

Це може свідчити про різну питому поверхню та форму і розмір часток дослідних наповнювачів, що може бути предметом наступних досліджень.

Таблиця 1 – Властивості поверхні наповнювачів

Зразок	Густина пікнометрична, г/см ³	Густина насипна, г/см ³	Кут змочування, град.	Поверхнева енергія, Дж/м ²
Цеоліт	2,22	1,01	83	33,07
Перліт	2,31	1,20	70	50,12
Андезит	2,28	1,42	67	53,14
ЧШ	3,14	1,27	74	45,02
ЧШГ	2,39	0,81	77	42,49
Зола Б	1,82	1,03	69	51,67
Зола К	2,32	0,91	79	39,58

Кут змочування показує, що всі дослідні наповнювачі є гідрофільними їх $\theta < 90^\circ$. Максимальне значення цього параметру зафіксовано для Цеоліту і становить 83° , при цьому він має найнижчу поверхневу енергію.

Отже, крайовий кут змочування характеризує процес утворення адгезійного з'єднання між наповнювачем та полімерним з'язуючим, що є необхідною умовою формування якісного ПКМ.

ВИСНОВКИ

Визначено пікнометричну густина дослідних наповнювачів і встановлено, що вона варіюється від 1,82 до 3,14 г/см³. Насипна густина змінюється в межах 0,81 до 1,422 г/см³. Всі дослідні наповнювачі є гідрофільними максимальний кут змочування є 83° , зафіксовано для цеоліту, який в свою чергу має найнижчу поверхневу енергію 33,07 Дж/м².

Список літератури

1. Курта С. А. Наповнювачі – синтез, властивості та використання : навчальний посібник. Івано-Франківськ : Видавництво Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, 2012. 302 с.

УДК 691.32

ВПЛИВ АКТИВНИХ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБАВОК НА ВОДОПОТРЕБУ ЦЕМЕНТНИХ КОМПОЗИЦІЙ

Ігор Глуховський, к. т. н., доц.,
Владислав Глуховський, к. т. н., доц.,
Ольга Тупиця

КПІ ім. Ігоря Сікорського

Анотація. Встановлено вплив виду та кількості активних мінеральних добавок до цементу на водопотребу кінцевого продукту. Досліджено зміну водоцементного відношення тіста нормальної густини у цементах з добавками.

Ключові слова: портландцементний клінкер, активні мінеральні добавки до цементів, зола виносу, трепел, водоцементне відношення, тісто нормальної густини.

Abstract. The influence of the type and amount of active mineral additives to cement on the water consumption of the final product was determined. The change in the water-cement ratio of the dough of normal density in cements with additives was studied.

Key words: Portland cement clinker, active mineral additives to cements, ash removal, aspen, water-cement ratio, dough of normal thickness.

Зниження енергоємності та матеріалоємності національного продукту є першочерговою задачею розвитку промислового комплексу України. У галузі будівельного виробництва ця задача може бути вирішена шляхом зменшення витрат основного мінерального в'язучого – портландцементного клінкеру, загальна енергоємність якого становить близько 7500 МДж на тонну, та за рахунок залучення до складу портландцементу активних мінеральних добавок. Одним з основних напрямів скорочення енергоємності будівельного виробництва, який відповідає існуючим світовим тенденціям, є зменшення кількості клінкерної складової у складі будівельних виробів, шляхом введення до складу цементів

загальнобудівельного призначення активних мінеральних компонентів, що знайшло відображення у діючих в Україні нормативних документах [1].

Згідно [1] передбачається можливість використання ряду активних мінеральних добавок, які можна використовувати при виробництві цементу. Але в Україні з них в наявності є тільки золи-виносу і пуцолани природного походження (трепел, опока, діатоміт). В твердіючому цементі вони здатні проявляти пуцоланову активність – зв'язувати вапно в низькоосновні гідросилікати при твердненні у нормальних умовах. Наряду з цим, оскільки дисперсність добавки співрозмірна з розмірами зерен цементу, водопотреба в'язучого зростає зі збільшенням кількості введеної добавки, що, у відповідності до закону водоцементного відношення [2; 3], впливає на кінцеву міцність композицій.

За результатами дослідження було визначено вплив активних мінеральних добавок на водопотребу цементного тіста.

Для визначення впливу якісного та кількісного складу портландцементу на його реологічні характеристики, були виготовлені композиції на основі цементу типу ПЦ-I з добавками золи виносу Ладижинської ТЕС та трепелу Коноплянського родовища (Кіровоградської обл.) склади яких наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Склади композицій, що досліджувались

№ складу	Клінкер, мас. %	Вид добавки	Кількість добавки, мас. %	Тип цементу
1	100	—	0	ПЦ I
2	94	трепел	6	ПЦ II-П
3	80	трепел	20	ПЦ II-П
4	94	зола-виносу	6	ПЦ II-З
5	80	зола-виносу	20	ПЦ II-З
6	79	трепел+зола-виносу	21	ПЦЦ IV/A
7	65	трепел+зола-виносу	35	ПЦЦ IV/A
8	64	трепел+зола-виносу	36	ПЦЦ IV/Б
9	45	трепел+зола-виносу	55	ПЦЦ IV/Б

Результати дослідження залежності водопотреби цементу з активними мінеральними добавками, яка визначалася за В/Ц тіста нормальної густини наведені на рис. 1 та в табл. 2.

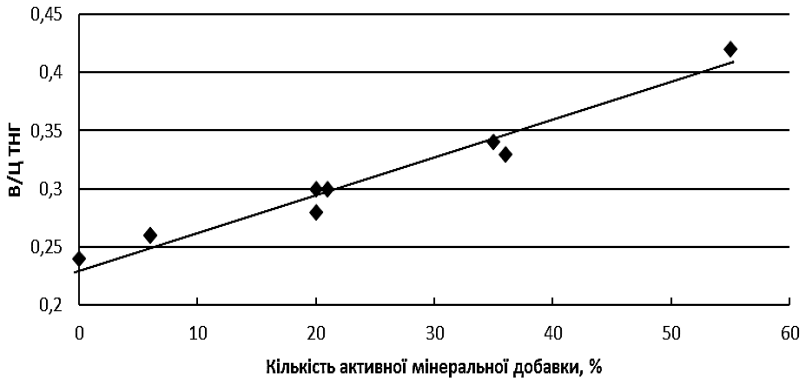


Рисунок 1 – Залежність В/Ц тіста нормальної густини від кількості активної мінеральної добавки у складі портландцементу

Таблиця 2 – Водоцементне відношення тіста нормальної густини для складів цементів з активною мінеральною добавкою

№ складу	Тип цементу (аналог)	Кількість добавки, мас. %	В/Цтнг
1	ПЦ I	0	0,24
2	ПЦ II-П	6	0,26
3	ПЦ II-П	20	0,30
4	ПЦЦ IV/A	21	0,30
5	ПЦЦ IV/A	35	0,34
6	ПЦЦ IV/Б	36	0,33
7	ПЦЦ IV/Б	55	0,42

При визначенні впливу виду та кількості активної мінеральної добавки на реологічні характеристики тіста нормальної густини (рис. 1) встановлено, що із збільшенням кількості добавки у складі портландцементу з добавкою пуцолани (аналог ПЦ II-П),

водопотреба тіста нормальної густини збільшується, що супроводжується збільшенням $V/C_{\text{ТНГ}}$ з 0,26 (при кількості добавки трепелу 6 мас. %) до 0,30 (при кількості добавки трепелу 20 мас. %).

Аналогічно, при збільшенні кількості добавки у складі портландцементу з добавкою золи-виносу (аналог ПЦЦ П-3), водопотреба тіста нормальної густини збільшується та супроводжується збільшенням $V/C_{\text{ТНГ}}$ з 0,26 (при кількості добавки золи-виносу 6 мас. %) до 0,28 (при кількості добавки золи-виносу 20 мас. %).

При збільшенні кількості комбінованої добавки (трепелу та золи-виносу) у складі пуцоланового цементу (аналог ПЦЦ IV/A), водопотреба тіста нормальної густини збільшується та супроводжується збільшенням $V/C_{\text{ТНГ}}$ з 0,30 (при кількості добавки 21 мас. %) до 0,34 (при кількості добавки 35 мас. %).

Аналогічно, при збільшенні кількості комбінованої добавки (трепелу та золи-виносу) у складі пуцоланового цементу (аналог ПЦЦ IV/B), водопотреба тіста нормальної густини збільшується та супроводжується збільшенням $V/C_{\text{ТНГ}}$ з 0,33 (при кількості добавки 36 мас. %) до 0,42 (при кількості добавки 55 мас. %).

ВИСНОВКИ

Узагальнюючи результати, що отримані при визначенні водопотреби цементного тіста, можливо зробити висновок, що введення до складу портландцементу загальнобудівельного призначення активних мінеральних добавок призводить до збільшення водопотреби цементу, що супроводжується підвищенням значення $V/C_{\text{ТНГ}}$ та повинно, у подальшому, впливати на активність композицій на основі вказаних в'язучих.

Список літератури

1. ДСТУ Б В.2.7-46:2010 Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови [Текст]. Чинний 2011-09-01. Київ : Вид-во Мінрегіонбуд України, 2011. 20 с. (Національні стандарти України).
2. Баженов Ю. М. Технология бетона [Текст]. Москва : Изд. АСВ, 2003. 500 с. ISBN 5-93093-138-0.
3. Гоц В. І. Бетони і будівельні розчини [Текст] : підручник. Київ : КНУБА, 2003. 472 с. ISBN 966-7769-22-4.

УДК 667.6

ГАЛЬВАНІЧНІ ВІДХОДИ ПРОМИСЛОВОСТІ ЯК БАРВНИКИ В КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛАХ

Марія Маслянчук¹,
Наталія Дорогань², к. т. н.,
Юлія Мірошниченко¹, к. т. н., доц.,
Лев Черняк², д. т. н., проф.,
Олег Шнирук²

¹ Політехнічний ліцей НТУУ «КПШ»

² КПШ ім. Ігоря Сікорського

Анотація. Основою даного пошукового ініціативного дослідження стало вивчення результативності застосування відходів гальванічного виробництва машинобудівних підприємств України як барвників, що забезпечують декоративні властивості будівельних матеріалів та архітектурну виразність споруд.

Ключові слова: пігмент, барвник, гальваношлами, відходи, гіпс, лак, колір.

Abstract. The basis of this exploratory initiative study was the study of the effectiveness of the use of electroplating wastes of machine-building enterprises of Ukraine as dyes that provide decorative properties of building materials and architectural expressiveness of buildings.

Key words: pigment, dye, galvanic sludge, waste, gypsum, varnish, color.

Вступ. В Україні є велика кількість заводів машинобудування, побічними продуктами роботи яких є гальванічні відходи. На даний час розроблені технології їх нейтралізації та використання переробленого шламу при виробництві асфальту, бетону, керамзиту, тощо. У даній науковій роботі пропонується використання гальваношламів з великим вмістом барвних оксидів як пігмента в композиційних системах; досліджується ефективність використання гальванічних відходів як барвників. Встановлено, що забарвлення композиційних систем на основі мінерального (гіпсу) та полімерного (лаку) в'язучих за допомогою перероблених гальванічних відходів

є результативним, адже при невеликій концентрації (до 25 %) отримано достатньо яскраві та приємні відтінки; виявлені ущільнюючі функції гальваношламу [1–3].

Експериментальна частина

Відомості про використані в експерименті гальваношлами

Як можливі техногенні барвники використали гальванічний шлам двох гальванічних підприємств України: Хмельницької (А) та Полтавської (В) областей (рис. 1).



А

В

Рисунок 1 – Відходи гальванічного виробництва

Досліджувані відходи відрізняються за генезисом (відмінностями гальванічних виробництв), кольором, ступенем дисперсності та хімічним складом.

Однакова ступінь дисперсності проб відходів перед виготовлення досліджуваних зразків забезпечувалась розтиранням та просівом через сито 10 000 отв/см².

Надалі компоненти згідно складу дозували по масі та змішували для гомогенізації.

Для визначення хімічного складу проб гальванічних відходів застосовували рентгенофлуоресцентний аналіз (РФА, ХКГ).

Метод РФА заснований на зборі та аналізі спектру, який виникає при опроміненні досліджуваного матеріалу рентгенівським випромінюванням.

За даними рентгенофлуоресцентного аналізу хімічний склад проби А гальванічних відходів характеризується переважною

кількістю сполук міді (89,51 %), суттєвою кількістю діоксиду силіцію, домішками фосфору, кальцію та заліза (табл. 1).

Таблиця 1 – Хімічний склад гальванічних відходів

Код проби	Вміст оксидів, %						
	SiO ₂	CuCl ₂	CuO	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ni ₂ O ₃	CaO
A	8,50	46,81	42,7	—	0,30	0,02	0,46
B	2,60	—	2,37	4,22	22,58	1,72	50,42
	CaSO ₄	MgO	ZnO	CdO	SnO ₂	P ₂ O ₅	
A	—	—	—	—	0,21	0,89	
B	3,24	6,82	3,64	0,66	0,22	1,10	

Хімічний склад відходів проби B відзначається переважною кількістю оксидів кальцію та заліза (73 %), суттєвою кількістю оксидів магнію, хрому, цинку, кремнію, міді, домішками оксидів нікелю, фосфору та кадмію.

Експеримент на основі полімерного в'язучого

Як мінеральне в'язуче використовували будівельний гіпс марки Г-5, що широко використовується в будівельному комплексі України [4]. Склади дослідних сумішей на основі гіпсу характеризувались варіюванням вмісту гальванічних відходів в інтервалі 5–25 мас. % для проби А (табл. 2) та 5-15 мас. % для проби B (табл. 3).

Таблиця 2 – Склади дослідних сумішей на основі гіпсу

Код проби	Вміст компонентів, мас. %	
	гіпс Г-5	барвник А
m	100	—
m1	95	5
m2	90	10
m3	85	15
m4	75	25

Методика виготовлення зразків в даній роботі відповідала основам технологічного процесу, що є системою

взаємопов'язаних дій з моменту отримання вихідних даних до досягнення потрібного результату.

Таблиця 3 – Склади дослідних сумішей на основі гіпсу

Код проби	Вміст компонентів, мас. %	
	гіпс Г-5	барвник В
m	100	-
m5	95	5
m6	85	15

При виготовленні гіпсового тіста, що отримується шляхом змішування гіпсу і води до нормальної густини, проводили додаткову операцію, задана кількість техногенного пігменту змішувалась з водою, а потім цим розчином зачиняли гіпс. Це сприяло гомогенному розподілу пігменту в дослідній суміші.

Внутрішню поверхню форм для зразків-балочок злегка протирали мастилом і готове тісто вкладали до них. Заповнені форми струшували 5 разів, а залишки гіпсового тіста знімали ножом. Через 45 хв зразки обережно розформовували і через 2 год оцінювали досягнутий декоративний ефект.

Очевидно, що при введенні досліджуваних гальванічних відходів у гіпсову суміш досягається забарвлення зразків виробів. При цьому ступінь ефекту залежить від різновиду відходів та їх концентрації. Так, при застосуванні техногенного пігменту проби А в інтервалі його концентрації 525 % кольорова гама зразків змінюється від блідо салатного до світло зеленого тону (рис. 2).

Цьому ефекту відповідають оптичні характеристики поверхні зразків виробів: із збільшенням ступеню забарвлення коефіцієнт відбиття світла зменшується від 0,40 до 0,25 проти 0,75 для зразків без пігменту (рис. 3).

При використанні техногенного пігменту проби В в інтервалі його концентрації 5–15 % кольорова гама зразків змінюється від блідо бежевого до світло помаранчевого тону (рис. 4).

Цьому ефекту відповідають оптичні характеристики поверхні зразків виробів: із збільшенням ступеню забарвлення коефіцієнт

відбиття світла зменшується від 0,65 до 0,50 проти 0,75 для зразків без пігменту (рис. 5).

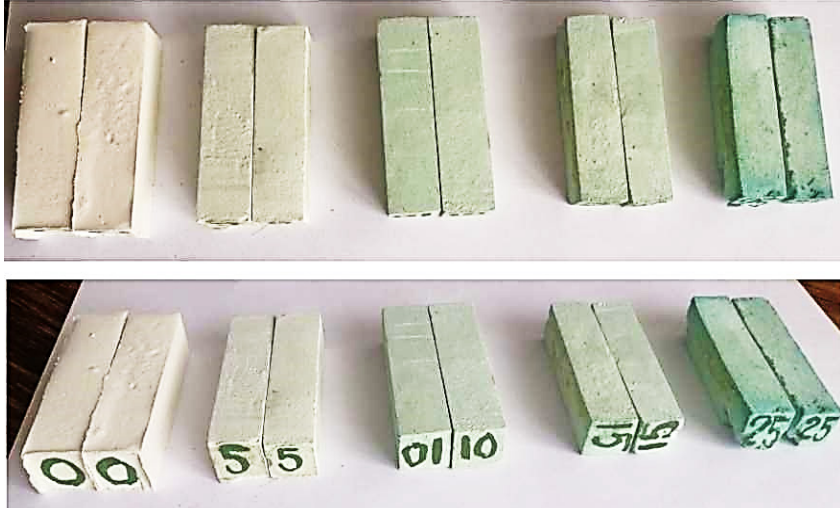


Рисунок 2 – Кольорова гама зразків гіпсу з барвником А

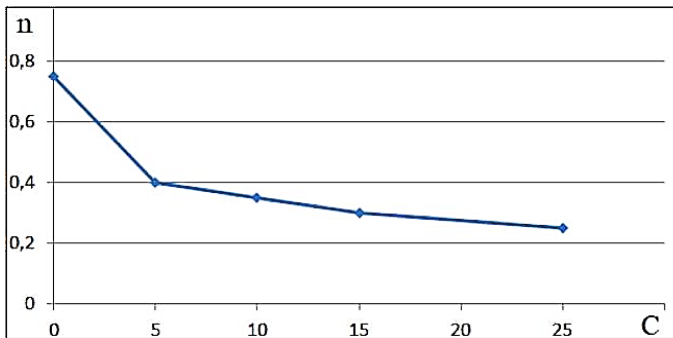


Рисунок 3 – Залежність коефіцієнту відбиття світла від концентрації техногенного барвника А

Отже, оптимальна концентрація пігменту А з гіпсом 5–25 %, ми отримуємо спектр від салатого до світло зеленого,

а пігменту В з цим самим в'язучим до 15 % для отримання гамми від бежевого до світло помаранчевого кольорів. При більшій концентрації робота з матеріалом неможлива, адже гіпс занадто швидко твердіє.



Рисунок 4 – Кольорова гама зразків гіпсу з барвником В

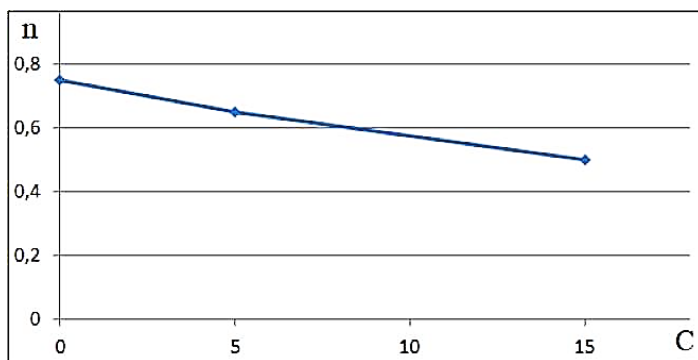


Рисунок 5 – Залежність коефіцієнту відбиття світла від концентрації техногенного барвника В

Експеримент на основі полімерного в'язучого

Як полімерні в'язучі застосовували безкольорові водно-дисперсні лаки на основі акрилу марок Novoset 3340 та TRIORA wood, що використовуюється в Україні. Склади дослідного покриття на основі лаку [5] характеризувались варіюванням вмісту гальванічних відходів в інтервалі 2–20 мас. % (табл. 4–6).

Таблиця 4 – Склади дослідного покриття на основі лаку

Код проби	Вміст компонентів, мас. %	
	Novoset 3340	барвник А
1р	98	2
2Р	90	10
3Р	80	20

Таблиця 5 – Склади дослідного покриття на основі лаку

Код проби	Вміст компонентів, мас. %	
	TRIORA wood	барвник А
р	100	—
Р1	98	2
Р2	90	10
Р3	80	20

Таблиця 6 – Склади дослідного покриття на основі лаку

Код проби	Вміст компонентів, мас. %	
	TRIORA wood	Барвник В
Р	100	-
р4	98	2
Р5	90	10
р6	80	20

Підготовка зразків дослідного покриття включала дозування компонентів по масі, змішування та гомогенізацію, нанесення пензлем на поверхню, термічну обробку за температури 110 °С протягом 15 хв.

Встановлено, що аналогічно до зразків гіпсу, при введенні досліджуваних гальванічних відходів в лак досягається

забарвлення зразків покриття. При цьому ступінь ефекту залежить від різновиду лаку, відходів та їх концентрації. Так, при застосуванні техногенного пігменту проби А в інтервалі його концентрації 2–20 % кольорова гама зразків покриття на основі лаку Novoset 3340 змінюється від світло бірюзового до темно бірюзового тону (рис. 6).

При застосуванні техногенного пігменту проби А в інтервалі його концентрації 2–20 % кольорова гама зразків покриття на основі лазури TRIORA wood змінюється від світло бірюзового до бірюзового тону (рис. 7).

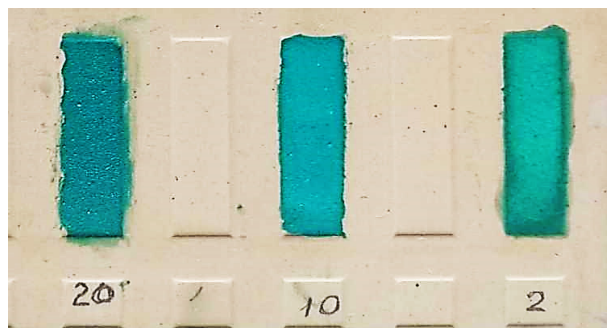


Рисунок 6 – Кольорова гама зразків на основі лаку Novoset 3340 з барвником А

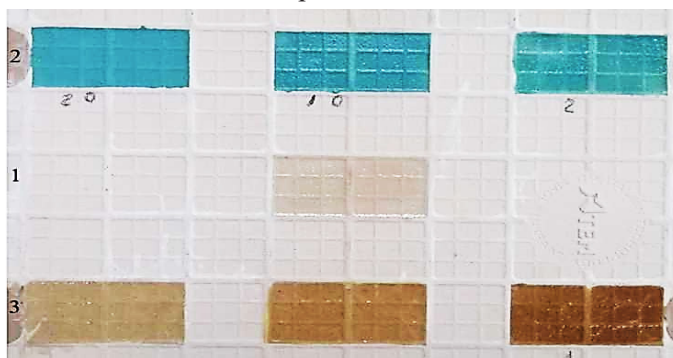


Рисунок 7 – Кольорова гама зразків на основі лазури TRIORA wood (1) та з барвниками А (2) і В (3)

При застосуванні техногенного пігменту проби В в інтервалі його концентрації 2–20 % кольорова гама зразків покриття на основі лаку TRIORA wood змінюється від світло бежевого до помаранчевого тону.

Отже, оптимальна концентрація і пігменту А, і пігменту В з полімерним в'язучим до 20 %, в результаті отримуємо яскраві кольори, також варто зазначити, що чим більша концентрація пігменту, тим менша прозорість. При більшій концентрації робота з матеріалом неможлива, бо він втрачає свої властивості і стає розсипчастим.

ВИСНОВКИ

Експериментально доведено, що утилізація гальванічних відходів як барвників у хімічній технології будівельних композиційних матеріалів сприятиме комплексному вирішенню задач підвищення ефективності виробництва, ресурсозбереження, екології та буде достатньо доступною за ціною. Саме ж використання кольорових будівельних матеріалів є значним фактором привабливості та виразності споруд різного призначення.

Список літератури

1. Сухі гіпсові і фосфогіпсові суміші із застосуванням ефективних модифікаторів. *Строительные материалы и изделия*. 2012. № 6. С. 20–23.
2. Пашенко Т. М., Світла З. І. Будівельне матеріалознавство : навчальний посібник. Київ : Аграрна освіта, 2009. 434 с.
3. Лакофарбові матеріали. *Термінологічний словник-довідник з будівництва та архітектури* / Р. А. Шмиг, В. М. Боярчук, І. М. Добрянський, В. М. Барабаш ; за заг. ред. Р. А. Шмига. Львів, 2010. С. 116.
4. Визір В. О., Громовий І. В. Кольорова та металізована кераміка. Київ : Будівельник, 1973. 88 с.
5. Інтернет-журнал про покриття “GidpoKraske” рубрика про лаки. URL: <https://gidpokraske.ru/laki/vidy-lakov>

УДК 666.94

ВПЛИВ КРИСТАЛІЧНОЇ МОДИФІКАЦІЇ СЗА ПОРТЛАНДЦЕМЕНТНОГО КЛІНКЕРУ НА РУХОМІСТЬ БЕТОННОЇ СУМІШІ

Анастасія Белоград

КПІ ім. Ігоря Сікорського

Анотація. Портландцементний клінкер містить кубічну та орторомбічну форми алюмінату кальцію, окремо або в комбінації, де моноклінної модифікації не спостерігається.

Було проведено дослідження утворення різних поліморфних модифікацій трикальцієвого алюмінату $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$, присутніх у портландцементному клінкері, виробленого з різною кількістю оксиду натрію та калію у співвідношенні з оксидом сульфуру (IV) в сировинній суміші та їх впливу на реологічну поведінку цементів, що містять $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$ кубічної та/або орторомбічної модифікації, у бетоні.

Ключові слова: портландцементний клінкер, трикальцієвий алюмінат, кубічна модифікація, орторомбічна модифікація, портландцемент, реологія цементу.

Abstract. Portland cement clinker contains cubic and orthorhombic forms of calcium aluminate, alone or in combination, where monoclinic modification is not observed.

The formation of various polymorphic modifications of tricalcium aluminate $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$ present in Portland cement clinker produced with different amounts of sodium and potassium oxides in relation to sulfur (IV) oxide in the raw mix and their influence on the rheological behavior of cements in concrete containing cubic or/and orthorhombic modification $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$ was studied.

Key words: portland cement clinker, tricalcium aluminate, cubic modification, orthorhombic modification, portland cement, cement rheology.

Кристалічна структура $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$ в портландцементному клінкері в основному визначається включенням лужних оксидів: K_2O та Na_2O та їх співвідношенням до оксиду сульфуру (IV), а також є функцією швидкості охолодження клінкеру, обидві дії спільно впливають на зміни реакційної здатності клінкерів, і як наслідок, мають вплив на реологію бетонних сумішей.

Точна кількісна оцінка фаз, включаючи пропорції поліморфів $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$, може бути досягнута за допомогою рентгенівської дифракції. Кореляції між вмістом лугів Na_2O , K_2O і SO_3 можуть свідчити про часткове заміщення CaO та включення Na_2O або K_2O у вакантне місце кубічного $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$, що призводить до утворення орторомбічної фази (рис. 1), що побудований на основі результатів рентген-дифракційного та рентген-флуоресцентного аналізу портландцементу ПЦ І 500, в перерахунку на клінкер.

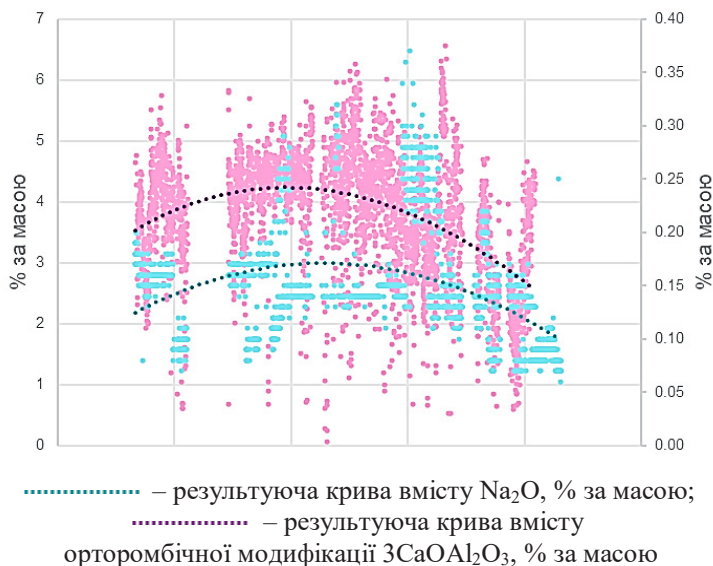


Рисунок 1 – Залежність вмісту оксиду Na_2O на кількості орторомбічної модифікації $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$

Так як лужні оксиди у процесі спікання клінкеру не залишаються у вільному стані, а утворюють сполуки з триоксидом сірки у вигляді мінералів арканіту (K_2SO_4), афіталіту ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 3\text{K}_2\text{SO}_4$), та лангбеніту ($2\text{CaSO}_4 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4$), відповідно з точки зору ведення процесу випалу, та утворення певної поліморфної модифікації трикальцієвого алюмінату, важливо контролювати співвідношення

оксиду сульфуру (IV) до вмісту лужних оксидів, за наступною формулою (1):

$$S/A = (SO_3/80) / ((K_2O/94) + (Na_2O/62) - (Cl_2/71)). \quad (1)$$

Коли співвідношення S/A нижче ніж 1, тобто насичення не відбувається і оксиди циркулюють у пічній системи, не зв'язуючись в сульфати, вони починають входити в кристалічну структуру кубічного $3CaO \cdot Al_2O_3$ викликаючи його поліморфне перетворення в орторомбічну модифікацію. З рис. 2 видно, що залежність збереженості пластичності бетонної суміші корелюється зі значенням S/A .

Для дослідження даного впливу до бетонної суміші не вводились пластифікуючі добавки, випробування проводилось за однакових умов та рецептури.

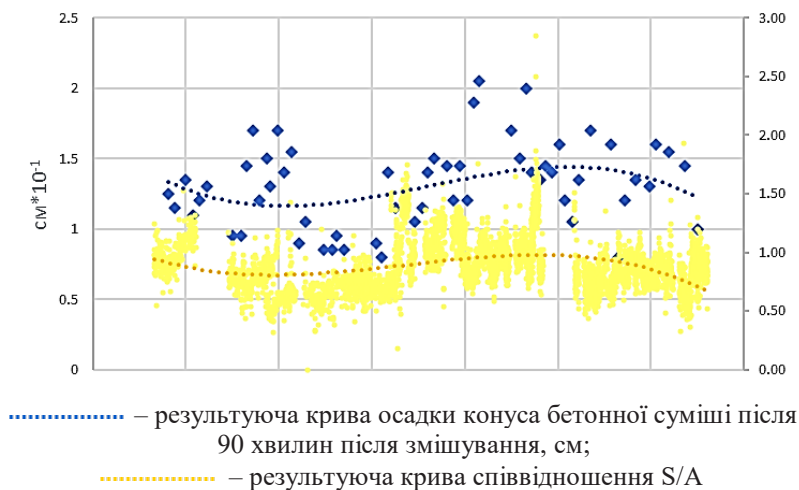


Рисунок 2 – Залежність пластичності бетонної суміші від співвідношення S/A

ВИСНОВКИ

1. У роботі проведено аналіз поліморфних модифікацій трикальцієвого алюмінату та виявлено залежність, що кубічна

модифікація $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$ менш активна під час реакції гідратації, ніж орторомбічної, що має позитивний вплив на реологічні властивості цементу в бетоні. Пластичність покращується в 1,5 рази.

2. Досліджено і виявлено, що співвідношення вмісту триоксиду сульфуру до оксидів натрію та калію має прямий вплив на формування кубічної модифікації $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$. Оптимальне співвідношення лежить в межах від 1 до 1,2.