

Я. Б. Якимечко, Р. І. Семеген, Б. Б. Чеканський
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра хімічної технології силікатів

КОМПОЗИЦІЙНІ В'ЯЖУЧІ ТА ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНІ БЕТОНИ НА ЇХ ОСНОВІ

© Якимечко Я. Б., Семеген Р.І., Чеканський Б. Б., 2015

На основі білого портландцементу розроблено та оптимізовано композиційне в'язуче і отримано теплоізоляційний бетон на його основі. Встановлено, що найефективнішими є добавки на основі негашеного вапна та сульфатвмісного компонента. Досліджено фазовий склад продуктів гідратації та будівельно-технічні характеристики композиційного в'язучого. За даними рентгенофазового аналізу основними продуктами гідратації є гідросилікати та еtringіт. Розраховано кількісний вміст кристалічних фаз: еtringіту, портландиту та кальциту. Оптимальний склад композиційного в'язучого характеризується мінімальними значеннями усадки та покращеними експлуатаційними характеристиками.

Ключові слова: білий портландцемент, алюмінію сульфат, активований гіпс, негашене вапно, теплоізоляційний бетон.

On the basis of white Portland cement composite binder is designed and optimized and insulated concrete is obtained on its basis. It is established that the most effective supplements are based on quicklime and sulphate component. The phase composition of hydration products and construction specifications composite binder is investigated. According to X-ray analysis of the main products of hydration are Hydrosilicates and Ettringite. The quantitative content of crystalline phases: Ettringite, Portlandite and Calcite is calculated. Optimal composition of composite binder is characterized by minimum values of shrinkage and the improved performance.

Key words: white Portland cement, aluminum sulfate, activated plaster, quicklime, insulating concrete.

Постановка проблеми. Значним резервом підвищення ефективності будівництва є зниження матеріалоемності, чого можна досягти з використанням теплоізоляційних матеріалів. Підвищення термічного опору стінових конструкцій дає змогу також зменшити витрати на опалення будівель та покращити комфортність проживання у них.

Одним із перспективних матеріалів є теплоізоляційні бетони на основі органічних заповнювачів, зокрема відходів деревини (тирса, щепи, кора), сільськогосподарського виробництва (костриця льону, коноплі, стебла бавовнику та ін.), картонажно-паперового виробництва тощо [1–3]. Великі об'єми таких матеріалів можуть стати сировинною базою для виготовлення на їх основі бетонів та стінових конструкцій.

Перспективними для використання є відходи технічної коноплі. Слід зазначити, що вирощування технічної коноплі в Україні знаходиться на початковому рівні, хоча досвід Франції, Англії, Німеччини свідчить про її високу ефективність у будівельних композитах [4, 5]. На відміну від інших матеріалів, костриця коноплі відрізняється значно меншим вмістом шкідливих водорозчинних органічних речовин (похідних полісахаридів, лігнінів, вуглеводів різного складу), які негативно впливають на процеси гідратації та тверднення в'язучих (портландцементу, вапна, гіпсу). Це пов'язано з технологічними особливостями переробки костри, у процесі якої значна

кількість шкідливих речовин вимивається технологічною водою. Позитивною характеристикою коноплі є її підвищена стійкість до загнивання та грибкової корозії.

Під час розроблення бетонів з використанням коноплі необхідно враховувати такі її характеристики: високі показники водопоглинання та гігроскопічної вологості (12–15 мас. %); хімічну агресивність до цементу; підвищені об'ємні деформації; різко виражену анізотропію стебел; підвищену пружність при ущільненні; незначну адгезію поверхні коноплі до продуктів гідратації цементу [6].

Ці характеристики коноплі зумовлюють специфічні вимоги до в'язучих, що використовуються для виготовлення теплоізоляційних бетонів. Основними вимогами до в'язучих є такі: регульовані терміни тужавіння, висока швидкість тверднення, мінімальний вплив водорозчинних полісахаридів та інших органічних речовин на процеси їх гідратації, здатність в'язучого інтенсивно тверднути при високих водотвердих відношеннях та зв'язувати при цьому значну кількість води [7].

Автори [8] пропонують використовувати в'язучі композиції, які вміщують прискорювачі тверднення портландцементу і одночасно є мінералізаторами для стебел коноплі (зв'язують у нерозчинні сполуки органічні складові коноплі, що негативно впливають на процес тверднення цементних мінералів). Найчастіше як мінералізатори використовують хлориди кальцію і заліза та сульфат алюмінію.

Аналіз літератури показує, що арболіт є перспективним будівельним матеріалом, який характеризується комплексом властивостей і може ефективно використовуватись як екологічно чистий матеріал для утеплення та будівництва стін малоповерхових будівель. Однак, існує проблема у виборі в'язучих, які б при відносно низькій вартості забезпечували швидкий набір міцності та високі фізико-механічні показники арболітових виробів.

Мета роботи – розроблення складів композиційних в'язучих, що використовуються для виготовлення теплоізоляційних бетонів з органічними заповнювачами і ефективно тверднуть в умовах підвищеної вологості та за наявності шкідливих водорозчинних органічних речовин.

Результати досліджень. Для розроблення та оптимізації складу композиційного в'язучого і виготовлення теплоізоляційного бетону було використано такі речовини та матеріали: портландцемент білий, вапно мелене негашене, гіпс будівельний, алюмінію сульфат, коноплі.

З метою утворення підвищеної кількості еtringіту, який відіграє армувальну роль завдяки своїй волокнистій структурі та здатен зв'язувати велику кількість води, до складу портландцементу як активний мінеральний додаток вводили високоактивований гіпсу двогідрат. Активований гіпс одержувався замішуванням гіпсу напівгідрату з водою при співвідношенні гіпс: вода = 1: 3 протягом часу, який перевищує час початку тужавіння, що дало змогу отримати високопластичну масу з розвиненою питомою поверхнею.

Для інтенсифікації процесу утворення еtringіту до маси вводили негашене вапно, оскільки за даними [9] наявність значної концентрації іонів Ca^{2+} у розчині забезпечує його максимальний вихід.

Регулювали час тужавіння бетону та мінералізували органічний заповнювач введенням алюмінію сульфату.

Експериментальні склади та фізико-механічні характеристики каменю наведено в табл. 1.

За даними табл. 1 для всіх складів композиційного в'язучого спостерігається позитивна динаміка набору міцності зразків. Однак введення до в'язучого активованого гіпсу (маса №2) зменшує міцність каменю протягом усього часу його тверднення. Використання алюмінію сульфату та активованого гіпсу в кількості 2,0 мас.% у складі маси № 3 зумовлює наростання міцності каменю як в ранні період тверднення, так і в віці 28 діб. Одночасне введення до маси вапна та активованого гіпсу суттєво не впливає на динаміку набору міцності каменю.

Фізико-механічні характеристики каменю (В/Т = 0,5)

№ з/п	Склад в'язучого				Міцність на стиск/згин, МПа, у віці, діб			
	білий п/ц	CaO	гіпс активований	Al ₂ (SO ₄) ₃	3	7	14	28
1	100	–	–	–	20,7/6,8	23,2/4,1	31,0/6,8	45,1/7,4
2	100	–	5	–	9,8/3,2	15,4/4,5	17,8/4,8	23,3/5,1
3	100	–	2	2	12,0/3,4	38,4/7,0	40,2/7,4	49,5/10,5
4	95	5	5	–	8,8/3,2	12,7/3,3	13,8/4,4	23,5/5,4
5	95	5	2	2	19,0/6,0	25,2/6,5	31,8/9,6	41,4/9,6

Для визначення оптимального вмісту алюмінію сульфату та активованого гіпсу в складі композиційного в'язучого оброблено результати за методом математичного планування двофакторного експерименту. Отримано математичну модель міцності каменю у вигляді рівнянь регресії. Аналіз математичних залежностей та їх графічна інтерпретація (рис. 1) дають змогу визначити оптимальний вміст алюмінію сульфату та активованого гіпсу в складі композиційного в'язучого у віці 28 діб.

Отже, використання додаткового введення до складу портландцементу 1,0 мас.% алюмінію сульфату та 3,5 мас.% активованого гіпсу дає змогу отримати міцність каменю композиційного в'язучого на стиск 52,5 МПа, що на 24 % більша від міцності каменю без добавок (39,9 МПа).

Для оптимального складу композиційного в'язучого досліджено будівельно-технічні характеристики (згідно з ДСТУ Б В.2.7-46:2010):

- нормальна густина НГ = 37,5 %;
- терміни тужавіння: початок – 120 хв, кінець – 180 хв;
- границя міцності при стиску, МПа: 7 доба – 21,62; 14 доба – 30,19; 28 доба – 44,00.

Будівельно-технічні характеристики цементу є наступними:

- нормальна густина цементного тіста НГ = 29,5 %;
- терміни тужавіння: початок – 120 хв, кінець – 150 хв;
- границя міцності при стиску, МПа: 7 доба – 26,17; 14 доба – 32,77; 28 доба – 37,38.

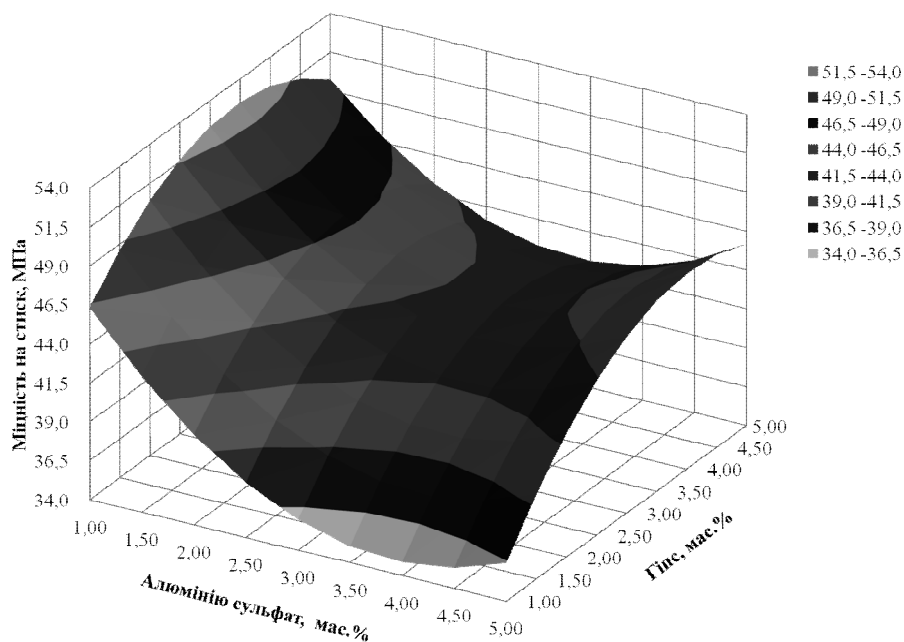


Рис. 1. Поверхня відгуку впливу складу композиційного в'язучого на міцність каменю

Порівняно із чистим цементом композиційне в'язуче характеризується підвищеним значенням нормальної густоти тіста. Це зумовлено реакцією еtringітоутворення, для проходження якої необхідна більша кількість води. Підвищений вміст води також впливає на відтермінування кінця тужавіння каменю композиційного в'язучого. Композиційне в'язуче характеризується меншою міцністю на стиск у ранні терміни тверднення, але у віці 28 діб міцність зросла майже на 15 % порівняно з чистим цементно-піщаним розчином.

Склад продуктів гідратації композиційного в'язучого визначали з використанням рентгенофазового аналізу та термографії. Досліджували фазовий склад композиційного в'язучого у віці 28 діб. На рентгенограмі (рис. 2) можна зазначити, що основними фазами в системі є такі гідратні фази: еtringіт, портландит, гідросилікати кальцію типу C-S-H (II) та кальцит.

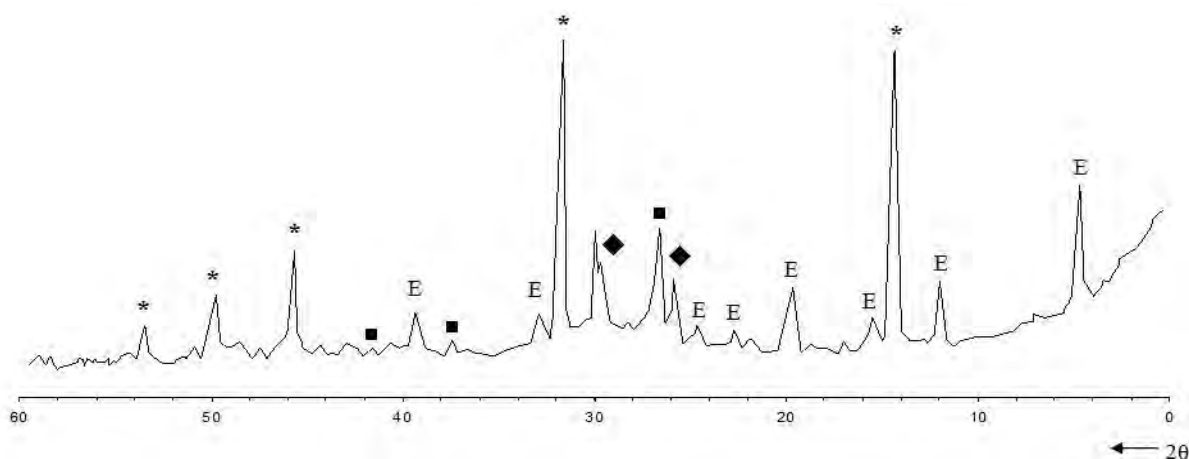


Рис. 2. Рентгенограма композиційного в'язучого у віці 28 діб:
E – еtringіт; * – портландит; ◆ – гідросилікати кальцію типу C-S-H (II); ■ – кальцит

Для визначення фазового складу та вмісту продуктів гідратації композиційного в'язучого проводили диференційно-термічний аналіз. Пробу матеріалу було відібрано із зразка каменю у віці 28 діб. Термограма каменю наведено на рис. 3.

Для каменю композиційного в'язучого характерні такі ендотермічні ефекти: 60–200 °C – дегідратація води з еtringіту та C-S-H (II); 460–520 °C – дегідратація портландиту і перехід у CaO; 710–750 °C – дисоціація вторинного кальциту, що утворився внаслідок карбонізації Ca (OH)₂.

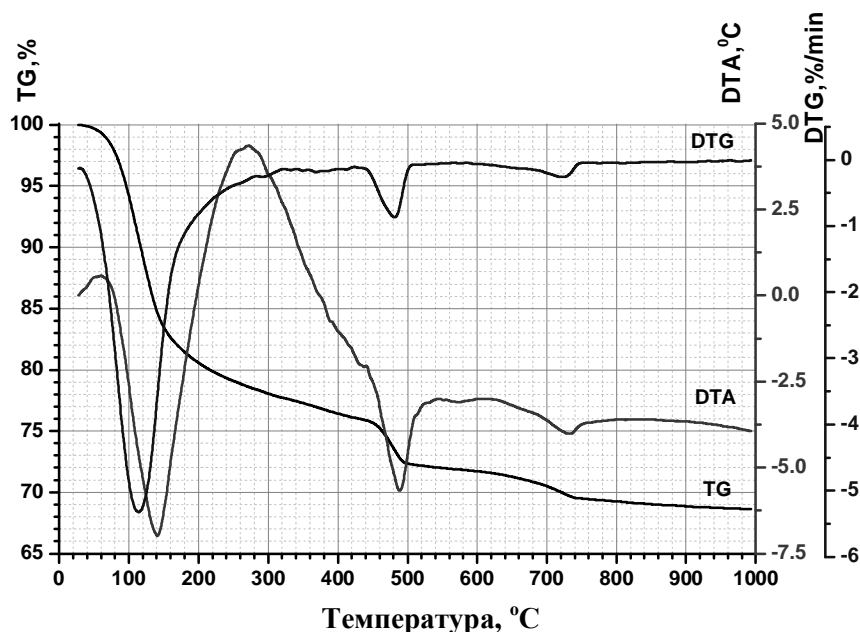


Рис. 3. Термограма композиційного в'язучого в віці 28 діб

За даними термогравіметричного вимірювання було розраховано кількості окремих продуктів гідратації (табл. 2).

Таблиця 2

Розрахунок продуктів гідратації композиційного в'язучого

Час тверднення, діб	Вміст продуктів гідратації, мас.%		
	Еtringіт + C-S-H (II)	Ca (OH) ₂	CaCO ₃
28	85,39	12,34	2,27

Процес тверднення каменю супроводжується деформаційними змінами його лінійних розмірів – розширенням чи зсіданням. Характер деформаційних змін залежить від складу в'язучого та умов тверднення (рис. 4).

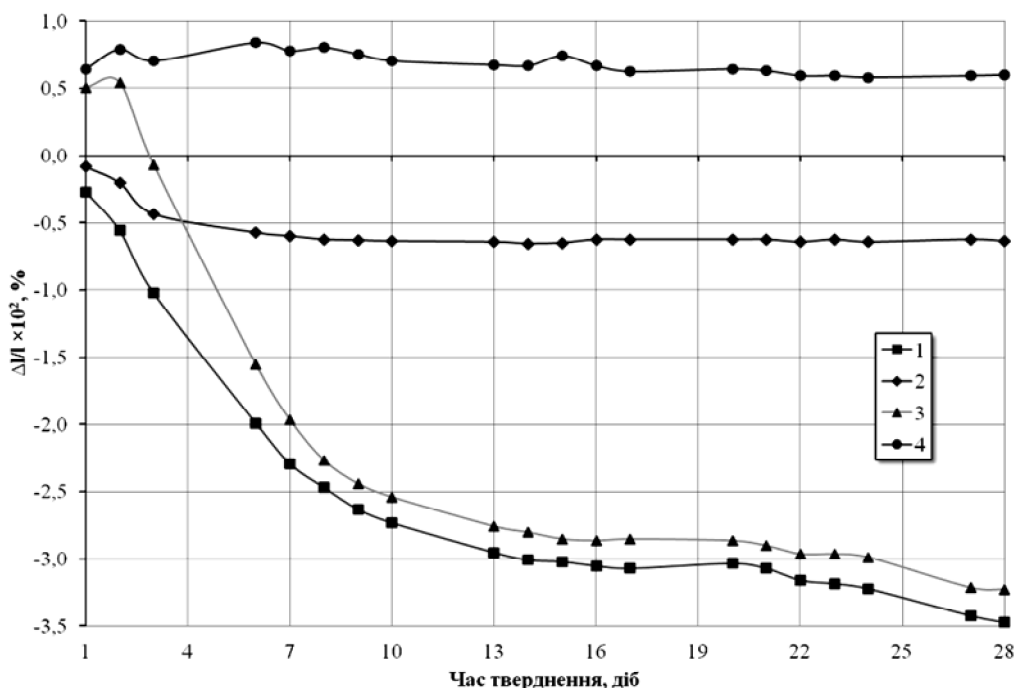


Рис. 4. Вплив складу в'язучого та умов тверднення на деформацію лінійного зсідання каменю: 1 – б/д, повітря; 2 – б/д, вологі умови; 3 – з добавкою 1 мас.% алюмінію сульфату та 3,5 мас.% активованого гіпсу, повітря; 4 – те саме, вологі умови

При твердненні чистого цементного каменю на повітрі інтенсивне зсідання проходило в перші 7 діб (близько 2/3 від загальної деформації). У вологому повітряному середовищі зсідання відбувалося із меншою швидкістю і суттєві деформаційні зміни практично припинилися на 7 добу.

Для оптимального складу композиційного в'язучого, який тверднув на повітрі, у перші два дні було притаманне розширення каменю, що пов'язано з інтенсивним утворенням еtringіту. На сьому добу характер кривої № 3 наблизився до характеру кривої №1. Щодо тверднення каменю оптимального складу в вологому середовищі, то розширення збереглося протягом усього часу експерименту і становило понад 0,5 % від початкової довжини зразка.

На основі оптимізованого композиційного в'язучого отримано бетон класу В0,75 з міцністю 1,2 МПа, але при цьому середня густина в сухому стані дорівнювала 360 кг/м³ (за ГОСТ 19222-84 густина для даного класу бетону повинна становити 450–500 кг/м³). Це дає змогу економити ресурси при виготовленні бетону, покращуючи теплофізичні властивості арболіту.

Коефіцієнт теплопровідності, розрахований за формулою Некрасова, дорівнює 0,094 Вт/(м·К). Ці характеристики можливі при масовому співвідношенні в'язуче: костра = 1,2:1,0 та при В/Т = 1,69.

Отже, одержаний арболітобетон є ефективним теплоізоляційним матеріалом, характеризується позитивною динамікою наростання міцності, високими міцнісними показниками і може бути використаний для низькоповерхового будівництва.

Висновок. На основі білого портландцементу отримано та оптимізовано склад композиційного в'язучого: 100 мас.% портландцементу, 1 мас.% $Al_2(SO_4)_3$ та 3,5 мас.% активованого гіпсу.

Досліджено експлуатаційні характеристики композиційного в'язучого та теплоізоляційного бетону на його основі. Показано, що введення до складу в'язучого добавок алюмінію сульфату та активованого гіпсу зменшує процеси зсідання. При цьому оптимальними є умови тверднення композиційного в'язучого при надлишковій вологості, що забезпечується в теплоізоляційному бетоні з коноплею, яка володіє водопоглинанням понад 200 %.

1. Прошин А. П., Береговой В. А., Береговой А. М., Солдатов С. Н. Прогнозирование теплопроводящих свойств поризованных арболитобетонов в процессе эксплуатации // *Бетон и железобетон в Украине*. – №4. – 2003. – С. 5–7. 2. Sugimoto Kenji. Sekko, sekkai, semento, chikyu kankyo no kagaku // *J. Soc. Inorg. Mater., Jap.* – 2002. – 9, №300. – P. 439–444. 3. Utilization of oil palm kernel shell as lightweight aggregate in concrete: A review. Alengaram U. Johnson, Al Muhit Baig Abdullah, Jumaat Mohd Zamin Bin. // *Constr. And Build. Mater.* – 2013. – № 38. – P. 161–172. 4. Paulien Brigitte de Bruijn, Knut-Hakan Jeppsson, Kenneth Sandin, Christer Nilsson. Mechanical properties of lime–hemp concrete containing shives and fibres // *Biosystems Engineering*. – 2009. – Volume 103, Issue 4. – P. 474–479. 5. Elie Antoine Awwad, Bilal Hamad, Mounir Mabsout, Helmi Khatib. Sustainable concrete using hemp fibres // *Proceedings of the ICE – Construction Materials*. – 2012. – Volume 166, Issue 1. – P. 45–53. 6. Al Rim K., Ledhem A., Douzane O., Dheilily R. M., and Queneudec M. Influence of the Proportion of Wood on the Thermal and Mechanical Performances of ClayCement-Wood Composites // *Cement & Concrete Composites*. – 2009 – Volume 21. – P. 269–276. 7. Tai-Thu Nguyen, Vincent Picandet, Sofiane Amziane and Christophe Baley. Influence of compactness and hemp hurd characteristics on the mechanical properties of lime and hemp concrete // *European Journal of Environmental and Civil Engineering*. – 2009. – Volume 13, Issue 9. – P. 1039–1050. 8. Sedan D., Pagnoux C., Smith A. and Chotard T. Mechanical Properties of Hemp Fibre Reinforced Cement: Influence of the Fibre/Matrix Interaction // *Journal of the European Ceramic Society*. – 2008 – Volume 28. – P. 183–192. 9. Пащенко О. О., Сербін В. П., Старчевська О. О. В'язучі матеріали. – К.: Вища шк., 1995. – 416 с.