

**БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ (192)**

---

УДК 691.5

**ВПЛИВ ЛУЖНОГО КОМПОНЕНТА ЗМІНИ ПОКАЗНИКА ЛУЖНОСТІ СИСТЕМИ  
ШЛАКОЛУЖНОГО ЦЕМЕНТУ ПРИ ВЗАЄМОДІЇ З АКТИВНИМИ  
ЗАПОВНЮВАЧАМИ**

Канд. техн. наук О. Ю. Ковальчук, асп. В. В. Зозулинець

**INFLUENCE OF THE ALKALINE COMPONENT ON THE KINETICS OF STRENGTH  
GAIN OF ONE-COMPONENT ALKALINE CEMENTS WHEN INTERACTING WITH  
ACTIVE AGGREGATES**

PhD (Tech.) O. Yu. Kovalchuk, postgraduate student V. V. Zozulynets

*Анотація.* У сучасному світі гостро виникає проблема якісних сировинних компонентів для будівельних матеріалів, зокрема бетонної промисловості. Родовища якісних заповнювачів вичерпуються, а використання низькоякісних матеріалів, зокрема тих, які містять активні елементи, призводить до зниження якості будівельної продукції, її довговічності, а в окремих випадках техногенних катастроф. Однак вирішення такої проблеми можливе шляхом спрямованого управління структурою і властивостями таких матеріалів. Досліджено можливість спільної роботи матриці лужних цементів і активних заповнювачів, представлених базальтовим заповнювачем, досліджено закономірності зміни рН середовища лужного цементу при різному вмісті лужного компонента та виду заповнювача. Встановлено, що при використанні лужного компонента в сухому вигляді відбувається процес нейтралізації лугів кремнієвою кислотою зі складу активного заповнювача. При цьому такий процес носить незворотний характер, і тверднення системи не відбувається. За рахунок підвищення вмісту лужного компонента в системі є можливість регулювати кінетику набору міцності лужних цементів з використанням активних заповнювачів і нівелювати їхній негативний вплив на кінетику набору міцності. На основі отриманих закономірностей запропоновано підходи до проектування складів лужних бетонів із застосуванням лужних заповнювачів при використанні лугів у сухому вигляді.

**Ключові слова:** лужний цемент, лужна корозія заповнювача, реакція ASR.

*Abstract.* In the modern world, the problem of high-quality raw materials for building materials, in particular, for the concrete industry, arises. Deposits of high-quality aggregates are drying up, and the use of low-quality materials, in particular, containing active elements, leads to a decrease in the quality of construction products, durability, and in some cases, man-made disasters. However, the solution to such a problem is possible by directional control of the structure and properties of such materials. It was studied possibility of joint work of alkali activated cement matrix with active aggregate, represented by basalt aggregate, regularities of pH changes of alkali activated cement environment depending from quantity of alkaline component and aggregate type are investigated. It is stated that using alkaline component in dry state results in neutralization of alkalis at initial stages of hardening by siliceous acid from the active aggregate composition. The hardening of system in this case is not taking place. Increasing alkaline component content in the

system makes it is possible to regulate alkali activated cements strength gain using active aggregates and to neutralize their negative influence on strength gain. Thus, increasing of alkali content up to 8-10 % by mass leads to the normal hardening of the mortar. The pH value of the media varies after 1 hour of hardening from 10 (for 0 % additional alkalis) to 11.5 (in case of 10 % of additional alkalis).

Taking into account obtained regularities there were proposed approaches for alkali activated concretes mix design using active aggregates and alkaline component in dry state. This could be introduction of active alumina and silica into the materials composition, increasing of alkalis content in the composition, using of different alkalis reach wastes and by-products, e.t.c.

**Keywords:** alkaline cement, alkaline corrosion of aggregate, ASR reaction.

**Вступ.** На сьогодні гостро постає питання розширення сировинної бази виробництва будівельних матеріалів, зокрема бетонних виробів і конструкцій. Підвищення ціни на традиційні якісні сировинні матеріали, зокрема на заповнювачі, змушує виробників звертати увагу на більш дешеві, але водночас менш якісні матеріали. Серед заповнювачів такої категорії є висока ймовірність наявності активних зерен заповнювача (активного кремнезему), що здатний брати участь у реакції з матрицею цементу і призводить до виникнення проблем, а у певних випадках – техногенних катастроф.

Проблема протікання лужної корозії заповнювача в бетонів є також суттєвою з тієї точки зору, що дослідження таких показників фактично відсутні в картах вхідного контролю виробників бетонів і залізобетонних конструкцій, а виявлення проблеми лужної корозії часто є можливим вже на стадії експлуатації виробу чи конструкції, коли вживати яких-небудь технологічних заходів уже запізно.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблема зниження якості і підвищення активності заповнювачів останнім часом набуває досить серйозних розмірів. Справа в тому, що перехід на використання вугілля при виробництві портландцементного клінкеру призвів до збільшення кількості з'єднань Na і K в цементі [1], що в комплексі зі збільшенням активності заповнювача призводить до розвитку деструктивних процесів у бетоні безпосередньо в період експлуатації [2]. У

тілі затверділого бетону виникають реакції «луг – активний кремнезем» (ASR), які призводять до появи в порах затверділого цементного каменю новоутворень, що перевищують об'єм цих пор [3]. Це стає причиною у свою чергу появи внутрішніх напружень у матеріалі і може призвести до появи тріщин і руйнування конструкції.

Результати проведених досліджень показали, що існують шляхи зниження рівня розвитку ASR в бетоні шляхом введення активних мінеральних добавок [4], які дозволяють регулювати процеси структуро-утворення і переводити протікання процесів, що виникають внаслідок описаної реакції, у безпечне русло [5]. Найбільш ефективними системами в даному напрямі стали лужні цементи [6], які дозволяють переводити механіку процесу ASR з деструктивного характеру в конструктивний, зміщуючи в часі момент протікання реакції на ранні терміни структуроутворення і не призводити до виникнення критичних напружень [7].

У той же час проведені дослідження стосувалися переважно використання лужних цементів за двокомпонентною технологією, у якій лужний компонент був представлений у рідкому вигляді [8]. Такі системи досить ефективні, проте технологічність їх застосування не є ідеальною. Сучасний ринок вимагає використання лужних цементів у вигляді однокомпонентної системи, яка елементарно затворюється водою.

Проблемою використання такої системи спільно з використанням активних наповнювачів може бути те, що розчини лужних компонентів (за старою технологією) містять питомо значно більшу кількість лугів у системі [9], і в однокомпонентних системах присутніх лугів може виявитися недостатнім для компенсації негативного впливу активного заповнювача. Використання ж надмірної кількості лугів у сухому вигляді також небажано через можливість підвищеного вилугування системи і розвитку деструктивних процесів [10].

**Визначення мети та завдання дослідження.** Метою наведеного дослідження є встановлення закономірностей зміни лужного середовища лужного цементу при використанні активних заповнювачів, а також розроблення технологічних методів усунення проблеми спільної роботи матриці лужного цементу при використанні лужного компонента в сухому вигляді і заповнювача, що містить активний кремнезем.

Основним завданням дослідження є вирішення вищенаведеної проблеми

шляхом підбору оптимального складу лужного компонента в однокомпонентній системі лужного цементу. Для цього передбачається визначення показника лужності системи в різні строки тверднення цементу за присутності активного заповнювача при різному відсотковому вмісті лужного компонента в системі. Баланс між мінімальним вмістом луку в системі та мінімальним показником зниження лужності дозволить визначити оптимальний вміст лужного компонента в цементі.

**Основна частина дослідження.**

**Методи дослідження та сировинні матеріали.** Як основний алюмосилікатний компонент лужного цементу використовували шлак доменний гранульований Маріупольського металургійного комбінату імені Ілліча, розмелений до питомої поверхні 450 м<sup>2</sup>/кг, за Блейном.

Як модельний активний заповнювач використовували базальт Рівненського родовища, представлений фракцією 1–2,5 мм. Хімічний склад матеріалів подано в табл. 1.

Таблиця 1

Хімічний склад сировинних матеріалів

Матеріал	Склад оксидів, % за масою								Σ, %	M <sub>o</sub>	M <sub>a</sub>
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	MnO	в.п.п.			
Шлак ММК	39,0	5,9	47,7	5,56	0,29	1,48	0,1	0,5	100,5	1,19	0,151
Базальт	50,2	14	8,53	6,6	15,0	0,08	0,24	0,55	95,16	0,24	–

Лужний компонент однокомпонентного лужного цементу представлений карбонатом кальцію (кальцинованою содою).

Показники лужності системи (рН) визначали через 1, 2, 3, 4, 5 і 24 години тверднення шляхом вимірювання характеристик 10 % водної витяжки на рН-метрі PL-700al (рН/ORP/Conductivity/TDS/Salt/DO/Temp).

Для визначення оптимального вмісту лужного компонента в однокомпонентній цементній системі з використанням активного заповнювача використовували лужний цемент ЛЦЕМ 1 за ДСТУ Б В.2.7-181, до якого додатково вводили лужний компонент у вигляді кальцинованої соди в кількості 2, 4, 6, 8 і 10 %.

*Отримані результати дослідження.* Дослідження зміни показника лужності

системи проводили в цементному тісті. Початковий вміст лужного компонента у складі цементу склав 4,5 % (2,5 % у перерахунку на Na<sub>2</sub>O). Таким чином, максимальний вміст лугу в системі становив 7,54 % у перерахунку на Na<sub>2</sub>O. Таке суттєве підвищення лужності системи

і перевищення нормативних показників за вмістом лугів було спрямоване на компенсацію негативного впливу саме активного заповнювача на структурні показники системи.

Результати наведених випробувань показано в табл. 2 і на рисунку.

Таблиця 2

Вплив вмісту лужного компонента на зниження загальної лужності системи

	Показник рН системи					
	ЛЦ	ЛЦ+2%	ЛЦ+4%	ЛЦ+6%	ЛЦ+8%	ЛЦ+10%
–	10,0	10,0	11,0	11,5	11,7	11,7
1 год	9,0	10,0	11,0	11,5	11,5	11,5
2 год	9,0	9,5	10,5	11,0	11,5	11,5
3 год	9,0	9,2	10,5	11,0	11,2	11,2
4 год	8,7	9,0	10,2	11,0	11,2	11,2
5 год	8,7	9,0	10,2	11,0	11,0	11,2
6 год	8,5	8,7	10,2	11,0	11,0	11,0
24 год	7,5	7,8	7,8	11,0	11,0	11,0

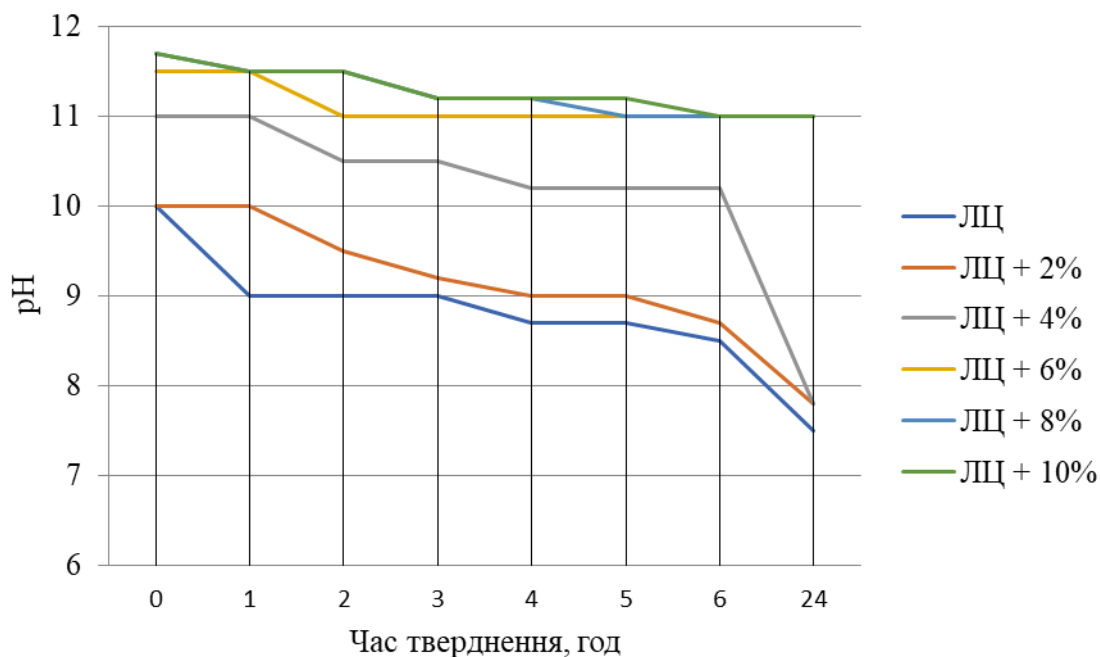


Рис. Зміна рН системи залежно від вмісту лужного компонента

Аналіз отриманих результатів показав, що при використанні активного заповнювача лужність системи падає вже на початкових строках тверднення. Без

додаткового введення лугу загальний показник рН вже в початкові строки становить 10 і стрімко зменшується в часі. З точки зору підтримки показника лужності

і забезпечення достатнього його рівня для тверднення системи оптимальним вмістом додаткового лужного компонента є 6 % соди, що забезпечує загалом 5,4 % лугу  $\text{Na}_2\text{O}$  в системі в цілому.

Отримані результати підтвердили припущення, що в умовах використання активного кислого заповнювача стандартного вмісту лугу в однокомпонентному лужному цементі недостатньо. Пояснити цей факт можна протіканням реакції між кремнієвою кислотою, яка виділяється активним заповнювачем, і лужним компонентом, що призводить до утворення гідросилікатів натрію. У цілому такий процес не носить деструктивного характеру і є конструктивним. Однак зменшення загальної кількості вільного лугу в матеріалі і падіння рН призводить до гальмування процесів структуроутворення в лужному цементі або припиняє їх у цілому.

Тому для підтримки загальної лужності системи необхідне введення додаткового лужного компонента в кількості 6–8 %. В умовах використання лужних систем з рідким лужним компонентом загального лугу в системі досить для протікання процесів структуроутворення і додаткового лугу не потрібно.

Отримані результати дозволяють запропонувати спосіб компенсації

негативного впливу активних заповнювачів на бетони на основі однокомпонентного лужного цементу шляхом введення додаткової кількості лужного компонента безпосередньо до складу бетону. Це дозволить забезпечити необхідну щільність розчину лужного компонента в твердіючому матеріалі і створить умови для формування необхідної структури.

Подальші дослідження будуть спрямовані на визначення впливу зміни загальної лужності системи на фізико-механічні властивості матеріалів і їх усадку. Також буде досліджено вплив введення активних мінеральних добавок на властивості матеріалів.

**Висновки.** Показано, що використання активних заповнювачів може істотно ускладнити або зупинити процеси структуроутворення однокомпонентних цементів з використанням активних заповнювачів (на прикладі базальту). Встановлено, що звичайного вмісту лугу в таких системах недостатньо для нормального протікання процесів структуроутворення, а загальна лужність системи падає вже в початкові терміни і в подальшому має стійку тенденцію до зменшення. Оптимальний додатковий вміст лугу в системі становить 6–8 %, що забезпечує високі початкові показники рН (11,5–11,7), а також збереження показника рН в часі (до показника 11 в перебігу 4–24 годин).

### Список використаних джерел

1. Pluhin O., Plugin A., Plugin D., Borziak O., Dudin O. (2017). The effect of structural characteristics on electrical and physical properties of electrically conductive compositions based on mineral binders. *Matec Web of Conference* 116 01013.
2. Kropyvnytska T., Semeniv R., Ivashchyshyn H. (2017). Increase of brick masonry durability for external walls of buildings and structures. *MATEC Web of Conferences*. 116. 01007.
3. Stanton T. E. (1940). Expansion of concrete through reaction between cement and aggregate. *J. Amer. Soc. Eng.* 66. 1781-1811.
4. Krivenko P., Petropavlovsky O., Kovalchuk O., Pasko A., Lapovska S. (2018). Design of the composition of alkali activated Portland cement using mineral additives of technogenic origin. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 4/6 (94). 6-15.
5. Kovalchuk O., Grabovchuk V., Govdun Ya. (2018). Alkali activated cements mix design for concretes application in high corrosive conditions. *MATEC Web of conferences*. 230. 03007.

6. Krivenko P., Petropavlovsky O., Kovalchuk O. (2018). A Comparative study on the influence of metakaolin and kaolin additives on properties and structure of alkali-activated slag cement and concrete. *J. Eastern European Journal of Enterprise Technologies*. 1/6 (91). 33–39.

7. Krivenko P., Drochytka R., Gelevera A., Kavalerova E. (2014). Mechanism of preventing the alkali–aggregate reaction in alkali activated cement concretes. *J. Cement and Concrete Composites*. 45. 157–165.

8. Lu D., Mei L., Xu Z., Tang M., Fournier B. Alteration of alkali reactive aggregates autoclaved in different alkali solutions and application to alkali–aggregate reaction in concrete:(I) Alteration of alkali reactive aggregates in alkali solutions. *J. Cement and concrete research*. 36(6) (2006). P. 1176–1190.

9. Shi Z., Shi C., Zhao R., Wan S.(2015). Comparison of alkali–silica reactions in alkali-activated slag and Portland cement mortars. *J. Materials and Structures*. 48 (3). P. 743–751.

10. Ramlochan T. Thomas M., Gruber K. (2000). The Influence of Metakaolin on ASR in Concrete. *J. Cement and Concrete Research*. 30(3). P. 339–344.

---

Ковальчук Олександр Юрійович, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Науково-дослідного інституту в'язучих речовин і матеріалів Київського національного університету будівництва і архітектури.

Тел.: +380443454830 E-mail: kovalchuk.oyu@gmail.com. ORCID iD: 0000-0001-6337-0488.

Зозулинєць Вікторія Василівна, аспірант, молодший науковий співробітник Науково-дослідного інституту в'язучих речовин і матеріалів Київського національного університету будівництва і архітектури.

Тел.: +380442415492. E-mail: zozulynets555@gmail.com. ORCID iD: 0000-0002-8066-2033.

Kovalchuk Oleksandr, PhD (Tech.), Senior Researcher of the Scientific Research Institute for Binders and Materials, Kyiv national university of construction and architecture. Tel.: +380442454830. E-mail: kovalchuk.oyu@gmail.com. ORCID iD: 0000-0001-6337-0488.

Zozulynets Viktoriia, Postgraduate Student, Junior Researcher of the Scientific Research Institute for Binders and Materials, Kyiv national university of construction and architecture. Tel.: +380442415492.

E-mail: zozulynets555@gmail.com. ORCID iD: 0000-0002-8066-2033.

Статтю прийнято 07.09.2020 р.