

УДК 691.5

О.Ю. Ковальчук,

канд. техн. наук, старш. наук. співроб.

ORCID: 0000-0001-6337-0488

В.В. Зозулинець,

аспірант

ORCID: 0000-0002-8066-2033

Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ

ВИКОРИСТАННЯ АКТИВНИХ ЗАПОВНЮВАЧІВ У БЕТОНІ ЯК ЗАПОРУКА РОЗШИРЕННЯ СИРОВИННОЇ БАЗИ І ЗНИЖЕННЯ СОБІВАРТОСТІ ПРОДУКЦІЇ

Для виготовлення бетонних виробів та конструкцій в якості заповнювачів зазвичай використовують традиційні природні матеріали (переважно гранітні та кварцові). Дана сировина є перевіреною, надійною та не викликає руйнувань в процесі експлуатації конструкцій. Проте, вона є вичерпною і характеризуються високою вартістю. Саме тому доцільним є розгляд питання щодо використання реакційно здатних (активних) заповнювачів. Особливо, якщо врахувати шляхи усунення лужної корозії. Розробка складів лужного бетону з використанням активних заповнювачів є запорукою розширення сировинної бази для виготовлення будівельних матеріалів зі зниженням собівартості продукції у порівнянні з виробами на основі традиційних систем. Використання активних мінеральних добавок дозволяє зменшити вміст вільних лугів у системі, запобігаючи протіканню лужної корозії затверділого штучного каменю. Водночас, процеси взаємодії активного кремнеземистого компоненту із лугами у складі цементної системи можливо перенести із розряду деструктивних (таких, що руйнують структуру затверділого каменю) у конструктивні процеси (зв'язуючи означені компоненти у нерозчинні сполуки під час протікання процесів гідратації та структуроутворення цементного каменю, не порушуючи надалі його зафіксовану структуру та ущільнюючі матеріал). Проведені дослідження показали високу ефективність запропонованих підходів для зв'язування надлишкових лугів (більше 0.6%) та спрямованого синтезу новоутворень лужного алюмосилікатного типу у складі штучного каменю цементу. Водночас, питання розширення отриманих результатів на управління процесами структуроутворення на різних рівнях бетонів із застосуванням цементів загальнобудівельного призначення потребують проведення подальших досліджень, а питання припинення лужної корозії вже затверділого бетону досі не піднімалось і є інноваційним з точки зору не тільки вітчизняної, але й світової науки.

Ключові слова: лужний бетон, реакційно здатний (активний) заповнювач, показник лужності середовища (pH), лужна корозія заповнювача.

Вступ. Розширення сировинної бази для виготовлення будівельних виробів та конструкцій є одним з ключових питань будівельної галузі. Саме тому актуальним стало використання техногенних продуктів, так званої вторинної сировини. Однак

на цьому можливості збагачення будівельного ринку сировинними компонентами не закінчуються.

Розглядаючи процес виготовлення дрібнозернистих бетонів не варто виключати можливість використання реакційно здатних (активних заповнювачів). І хоча використання реакційно здатних заповнювачів у складі бетонної суміші є небезпечним, проведення додаткових досліджень дозволить усунути основні недоліки, що виникають при роботі з даним видом заповнювачів. Небезпека використання активних заповнювачів полягає у тому, що жодних негативних проявів при виготовленні бетонної суміші та конструкції на її основі не спостерігається. Проблеми виявляються значно пізніше, у віці від одного року і далі, що обумовлює локальні руйнування бетону конструкції через розвиток неконтрольованих процесів розширення внаслідок протікання корозії заповнювача та появи новоутворень у структурі затверділого бетону.

До лужно-нестійких заповнювачів для бетонів відноситься доволі широка група матеріалів природного і штучного походження, які включають кремнезем в хімічно активній формі, здатний до взаємодії з лугами та солями, що дають у водному розчині лужну реакцію. У бетоні при певних умовах можуть відбуватися процеси хімічної взаємодії між цементним каменем і заповнювачами, які можна назвати «внутрішньою корозією бетону» і які викликають деструктивні явища у вигляді тріщин та прошарків гелевидних речовин, що утворюються у місці контакту заповнювача з цементним каменем. Враховуючи питання виснаження традиційних ресурсів якісних заповнювачів, вартісний фактор формування ціни на бетонну суміш та конструкції на її основі, а також наявні проблеми із виробничим контролем на підприємствах, використання реакційно здатних заповнювачів на теперішній час набуває актуальності і пріоритетності у будівельній індустрії.

Аналіз досліджень і публікацій. Пошуки шляхів підвищення довговічності й ефективності композицій на основі цементу, мінеральних волокон та інших лужно-реакційних заповнювачів ведуться, головним чином, у наступних основних напрямках:

- розробка нових видів малолужних портландцементів і різних способів модифікації портландцементів для зв'язування активного оксиду кальцію;
- покриття склоподібних волокон захисними складами, що захищають їх від впливу лужного середовища цементного каменю, що твердіє;
- розробка лужностійких волокон та заповнювачів;
- використання нових ефективних в'язучих, зокрема лужних в'язучих (шлаколужних, лужних портландцементів, лужних алюмосілікатних зв'язок і т.п.) з принципово відмінним від портландцементу механізмом гідратації і набором синтезованих гідратних новоутворень.

Відповідно до [1-3] при дослідженні корозійної стійкості ряду реакційно нестійких заповнювачів, було встановлено, що більш високою стійкістю володіють ті заповнювачі, у яких більш високий вміст активного глинозему. Цікавий досвід застосування в'язучих з низьким змістом луго, зокрема, таких як глиноземисті, гіпсосіланові цементи, шлакопортландцементи, гіпс. Однак глиноземистий цемент у 4-5 разів вище по вартості, ніж портландцемент, в Україні він не виробляється, а взагалі виробництво його обмежене через використання як сировину для його одержання бокситів. Армвані волокном

гіпсові вироби дозволяє підвищити ударну міцність, вогнестійкість, міцність при вигині [4], однак використання гіпсу у відповідальних конструкціях, навіть армованих мінеральним волокном, небезпечно з погляду надійності.

Найкращим варіантом зниження лужності цементів і підвищення стійкості лужно-реакційних заповнювачів в композиції є введення в композицію активних мінеральних добавок, що зв'язують активне вапно: аморфного мікрокремнезему, метакаоліну, золи-виносу, трепелу, діатоміту, подрібненого спученого перліту, пемзи, полімерних добавок [5-7]. Так, згідно даним [8], введення в портландцемент добавок мікрокремнезему і метакаоліну дозволило дещо підвищити стійкість скловолокна цементної матриці.

Постановка завдання. Основною ідеєю завдання є запровадження принципово нової концепції, направленої на запобігання та управління розвитком деструктивних процесів у бетоні, що викликані наявністю реакційно здатних заповнювачів шляхом управління процесами структуроутворення бетонної суміші із використанням активних заповнювачів за рахунок введення до складу суміші добавок алюмосилікатного складу (каолін, метакаолін, зола ТЕС) із одночасним зниженням водоцементного відношення бетонної суміші шляхом використання пластифікуючих добавок, а також використання технічних та технологічних методів обробки готових конструкцій.

Основні завдання:

- Дослідити властивості бетонів із використанням реакційно здатних заповнювачів;
- Провести коригування компонентного складу бетонної суміші та вивчити її експлуатаційні властивості;
- Вивчити вплив технічних та технологічних факторів приготування та укладання бетонної суміші на розвиток лужної корозії штучного каменю;
- Дослідити можливість блокування та припинення лужної корозії бетону готових конструкцій шляхом використання технічних та рецептурних рішень;
- Вивчити можливість відновлення конструкцій, що зазнали руйнування, після припинення розвитку лужної корозії.

Основний зміст і результати досліджень. В якості лужного компоненту під час приготування бетонної суміші на основі лужного цементу зазвичай використовувалось рідке скло, що викликає ряд технологічних ускладнень при роботі з такою системою. На сьогоднішній день все частіше використовуються однокомпонентні системи, де в якості лужного компоненту виступають сухі солі. Це створює необхідність вивчення особливостей зміни середовища, яке виникає у подібній системі.

Метою наведеного дослідження є встановлення закономірностей зміни лужного середовища лужного цементу при використанні активних заповнювачів, а також розробка рецептурних методів усунення проблеми спільної роботи матриці лужного цементу при використанні лужного компоненту у сухому вигляді і заповнювача, що містить активний кремнезем.

Основним завданням дослідження є вирішення вищенаведеної проблеми шляхом підбору оптимального складу лужного компоненту 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.

Лужний компонент було представлено 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-метрї PL-700al (табл. 1).

Таблиця 1

Вплив вмісту лужного компонента на зниження загальної лужності системи

Час тверднення	Показники 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

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

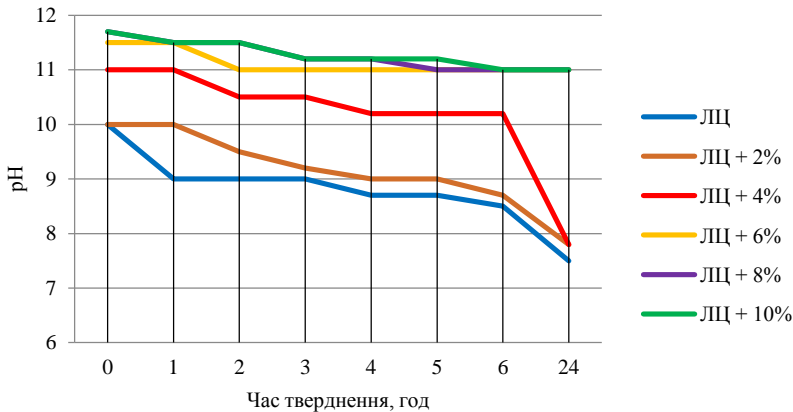


Рис. 1. Зміна рН системи в залежності від вмісту лужного компонента, представленого у вигляді сухої солі

Дослідження зміни показнику лужності системи проводили у цементному тісті. Початковий вміст лужного компонента у складі цементу склав 4,5% (2,5% в перерахунку на Na_2O). Таким чином, максимальний вміст лугу в системі становив 7,54% в перерахунку на Na_2O . Таке суттєве підвищення лужності системи і перевищення нормативних показників за вмістом лугів було спрямоване на компенсацію негативного впливу сааме активного заповнювача на структурні показники системи.

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 терміни становить 10 і стрімко зменшується в часі. З точки зору підтримки показника лужності і забезпечення достатнього його рівня для твердіння системи оптимальним вмістом додаткового лужного компонента є 6% соди, що забезпечує в загальному 5,4% лугу Na_2O в системі в цілому. 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.

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. 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 години).

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.

Список літератури:

1. Wallau, W., Pirskawetz, S., Volland, K. et al. Continuous expansion measurement in accelerated concrete prism testing for verifying ASR-expansion models. *Mater Struct* 51, 79 (2018). <https://doi.org/10.1617/s11527-018-1205-0>
2. Кривенко П.В. Особенность формирования зоны контакта "шлакощелочной цемент – минеральное волокно". *II Международный Симпозиум по цементным и бетонным технологиям в 2000*. Турция, Стамбул, 6–10 сентября, 2000. С.88–97.
3. Кривенко П.В., Пушкарьова К.К., Кочевих М.О. Заповнювачі для бетону – Київ: ФАДА ЛТД, 2001. – 399 с.

4. Ryduchowska D., Niemczewski H. Ocena efektywnosci zbrojenia zaczynow gipsowych wloknami szklanymi i polia-midowymi. *Cement, wapno, gips*, 1979, No. 6, p. 205-208.
5. Kovalchuk O., Gelevera O., Ivanychko V. Studying the influence of metakaolin on self-healing processes in contact-zone structure of concretes based on the alkali-activated Portland cement. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, No. 5/6 (101), 2019. Pp. 33-40. DOI:10.15587/1729-4061.2019.160959
6. Krivenko P.V., Kovalchuk O. (2020). Influence of type of alkaline activator on durability of alkali activated concrete using aggregates capable to alkali-silica reaction. *Key Engineering materials*. Vol. 864, pp. 180-188 DOI: 10.4028/www.Scientific.net/KEM.864.180
7. Кривенко П., Ковальчук О., Гелевера О. Вплив складу лужних цементів на лужну корозію заповнювачів з активним кремнеземом. *Науковий вісник будівництва*. Х.: ХНУБА, 2019. Т. 98. Вип. 4. С. 85 - 92.
8. Purnell, P., & Beddows, J. (2005). Durability and simulated ageing of new matrix glass fibre reinforced concrete. *Cement and Concrete Composites*, 27, 875-884. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2005.04.002>

References:

1. Wallau, W., Pirskawetz, S., Volland, K. et al. (2018). Continuous expansion measurement in accelerated concrete prism testing for verifying ASR-expansion models. *Mater Struct*, 51, 79. <https://doi.org/10.1617/s11527-018-1205-0>
2. Krivenko, P.V. (2000). Feature of formation of a zone of contact "slag-alkali cement – mineral fiber". *II International Symposium on Cement and Concrete Technologies in 2000*. Turkey, Istanbul, September 6-10, 2000. Pp. 88-97.
3. Kryvenko, P.V., Pushkarova, K.K. & Kochevykh, M.O. (2001). *Zapovniuvachi dla betonu*. Kyiv: FADA LTD.
4. Ryduchowska, D. & Niemczewski, H. (1979). Ocena efektywnosci zbrojenia zaczynow gipsowych wloknami szklanymi i polia-midowymi. *Cement, wapno, gips*. No. 6, p. 205-208.
5. Kovalchuk, O., Gelevera, O., & Ivanychko, V. (2019). Studying the influence of metakaolin on self-healing processes in the contact-zone structure of concretes based on the alkali-activated Portland cement. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 5 No. 6 (101), 33-40. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.181501>
6. Krivenko, P.V., Kovalchuk, O. (2020). Influence of type of alkaline activator on durability of alkali activated concrete using aggregates capable to alkali-silica reaction. *Key Engineering materials*. Vol. 864, pp. 180-188. DOI: 10.4028/www.Scientific.net/KEM.864.180
7. Kryvenko, P., Kovalchuk, O., Helevera, O. (2019). Vplyv skladu luznykh tsementiv na luzhnu koroziiu zapovniuvachiv z aktyvnym kremnezemom. [Influence of alkaline cement composition on alkaline corrosion of aggregates with active silica]. *Naukovyi visnyk budivnytstva*. Vol. 98, issue 4. Pp. 85-92.

8. Purnell, P., & Beddows, J. (2005). Durability and simulated ageing of new matrix glass fibre reinforced concrete. *Cement and Concrete Composites*, 27, 875-884. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2005.04.002>.

А.Ю. Ковальчук, В.В. Зозулинець

Использование активных заполнителей в бетоне как залог расширения сырьевой базы и снижения себестоимости продукции

Для изготовления бетонных изделий и конструкций в качестве заполнителей обычно используют традиционные природные материалы (преимущественно гранитные и кварцевые). Данное сырье является проверенным, надежным и не вызывает разрушений в процессе эксплуатации конструкций. Тем не менее, оно исчерпывается и характеризуется высокой стоимостью. Именно поэтому целесообразно рассмотрение вопроса об использовании реакционно способных (активных) заполнителей. Особенно если учесть пути устранения щелочной коррозии. Разработка составов щелочного бетона с использованием активных заполнителей является залогом расширения сырьевой базы для изготовления строительных материалов с понижением себестоимости продукции по сравнению с изделиями на основе традиционных систем. Использование активных минеральных добавок позволяет уменьшить содержание свободных щелочей в системе, предотвращая протекание щелочной коррозии затвердевшего искусственного камня. В то же время, процессы взаимодействия активного кремнеземистого компонента с щелочами в составе цементной системы можно перенести из разряда деструктивных (разрушающих структуру затвердевшего камня) в конструктивные процессы (связывая указанные компоненты в нерастворимые соединения при протекании процессов гидратации и структурообразования его зафиксированную структуру и уплотняющий материал). Проведенные исследования показали высокую эффективность предложенных подходов для связывания избыточных щелочей (более 0,6%) и направленного синтеза новообразований щелочного алюмосиликатного типа в составе искусственного камня цемента. В то же время, вопросы расширения полученных результатов на управление процессами структурообразования на разных уровнях бетонов с применением цементов общестроительного назначения нуждаются в проведении дальнейших исследований, а вопрос о прекращении щелочной коррозии уже затвердевшего бетона до сих пор не поднимался и является инновационным с точки зрения не только отечественной, но и мировой науки.

Ключевые слова: щелочной бетон, реакционно способный (активный) заполнитель, показатель щелочной среды (pH), щелочная коррозия заполнителя.

O. Kovalchuk, V. Zozulunets

Use of active aggregates in concrete as a guarantee of expansion of raw material base and reduction of cost of products

Traditional natural materials (mainly granite and quartz) are usually used as aggregates for the manufacture of concrete products and structures. This raw material is tested, reliable and does not cause destruction during operation of structures. However, it is exhaustive and characterized by high cost. That is why it is advisable to consider the use of reactive (active) aggregates. Especially if you consider ways to eliminate alkaline corrosion. The development of alkaline concrete compositions with the use of active aggregates is the key to expanding the raw material base for the manufacture of building materials with a reduction in production costs compared to products based on traditional systems. The use of active mineral additives allows to reduce the content of free alkalis in the system, preventing the alkaline corrosion of hardened artificial stone. Simultaneously, the processes of interaction of the active siliceous component with alkalis in the cement system can be transferred from the category of destructive (such as destroying the structure of hardened stone) in constructive processes (binding these components into insoluble compounds during hydration and cement formation, without breaking its fixed structure and sealing material). Studies have shown the high efficiency of the proposed approaches for the binding of excess alkalis (more than 0.6%) and targeted synthesis of alkaline aluminosilicate-type tumors in the composition of artificial cement stone. At the same time, the issue of extending the results to control the formation of structures at different levels of concrete with the use of general construction cements requires further research, and the issue of stopping alkaline corrosion of hardened concrete has not been raised and is innovative from the point of view of domestic and world science.

Key words: *alkaline concrete, reactive (active) aggregate, alkalinity index (pH), alkaline corrosion of concrete.*

Посилання на статтю

APA: Kovalchuk, O., & Zozulunets, V. (2021). Use of active aggregates in concrete as a guarantee of expansion of raw material base and reduction of cost of products. *Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannia rynkovykh vidnosyn*, 48 (1), 100-107.

ДСТУ: Ковальчук О.Ю. Використання активних заповнювачів у бетоні як запорука розширення сировинної бази і зниження собівартості продукції / О.Ю. Ковальчук, В.В. Зозулинець // Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин. – 2021. – № 48(1). – С. 100-107.