

**Гусейнов О. А., аспірант, Запорожець В. І., аспірант**  
(Придніпровська державна академія будівництва та архітектури,  
м. Дніпро)

## **КОМПОЗИЦІЙНІ В'ЯЖУЧІ НОВОГО ПОКОЛІННЯ: ДОСВІД, СТАН ПИТАННЯ**

**У статті розглянуто досвід отримання композиційного в'язучого. Застосування композиційних в'язучих різних складів дозволяє створювати композити із заздалегідь заданими фізико-механічними властивостями та експлуатаційними характеристиками. Однак, необхідно науково-експериментальне проектування складу, а також вибір технології модифікування та виготовлення в'язучих. При виборі сировини для композиційного в'язучого найбільш ефективними є компоненти, що зазнали впливу геологічних та техногенних процесів. З усіх сучасних методів активації в'язучого, що найповніше відтворюються в промислових умовах, найкращу ефективність дає механічна та механохімічна активація в млинах різного принципу дії. Однак, необхідно визначити спосіб подрібнення та оптимальну тонину помелу, щоб зберегти частину відносно великих зерен (мікробетон), відповідальних за збільшення міцності бетону в ході експлуатації.**

**Ключові слова:** композиційні в'язучі; кремнеземвмісні компоненти; модифікатори; активація.

**Вступ.** В умовах енерго- та ресурсозбереження, а також покращення екологічного стану, все здебільш актуальним стає проблема створення менш енергоємних в'язучих (композиційних в'язучих), що є ефективною альтернативою розповсюдженим цементам.

Композиційні в'язучі (КВ) є сумішшю гідравлічного в'язучого, кремнеземвмісного компонента і різних модифікаторів, сприяють оптимізації заданих характеристик кінцевих виробів. До поточного часу розроблено та випробувано досить значний ряд різних композиційних в'язучих, унікальних як з позиції захисту навколишнього середовища, так і вигідних за капітальними

вкладеннями, а також виготовлених та апробованих у промислових масштабах. У той самий час, знаючи всі переваги таких складів, ці композити не мають заслуженого об'єму виробничих потужностей на цементних і бетонних заводах і ринках збуту. Тому, розробка і дослідження складів композиційних в'язучих та бетонів на їх основі є на сучасному етапі актуальним.

**Мета.** Провести теоретичне дослідження щодо вивчення попереднього досвіду створення композиційних в'язучих, ефективні сировинні матеріали, переваги та недоліки, сучасний стан та перспективи розвитку.

**Аналіз публікацій.** Методику виготовлення КВ досить вивчено. Раніше за допомогою домолу цементів разом із кремнеземовмісною добавкою синтезовані тонкомолоті багатокомпонентні цементні системи (ТМЦ) [1].

Наступним етапом стало виготовлення в'язучих низької водопотреби (ВНВ) [1], у яких до продуктів переробки клінкеру та активних добавок, вводиться пластифікуючий хімічний модифікатор [1]. Унікальність характеристик ВНВ можна пояснити механічним проникненням надмалих частинок пластифікуючої добавки до деформаційних щілин цементних частинок. Аналізуючи отримані результати зробили висновок про те, що швидке зростання міцності систем з низьким водоцементним ставленням або систем на основі тонкомолотих в'язучих викликане прискореним зростанням простору гідратних новоутворень. З іншого боку, у розвинених зарубіжних країнах розрахунковий термін експлуатації бетонів, що забезпечують міцність на стиск не менше 80 МПа при будівництві відповідальних будівель та споруд, становить 100 років, що досягається низьким водоцементним ставленням (за рахунок застосування суперпластифікаторів) [2].

Очевидно, що використання в'язучих низької водопотреби сприяє однозначному підвищенню ефективності бетонів і веде до: значного зменшення В/Ц сумішей порівняно з в'язким із чистого портландцементу (на 14–26%); усунення термічної обробки бетону з операцій або суттєве зниження її тривалості; відчутному (на 40–65% і вище) зниженню витрати цементу; однозначному зростанню якості бетону та виробів з нього [1].

Було встановлено, що для структуроутворення цементного каменю характерна оптимальна ступінь насичення наповнювачем, і зростання кількості добавки вище за цей рівень призводить до

порушення контактів між гранулами клінкеру і зниження міцності матеріалу.

Xiao J., Larbi J.A. [3] була вивчена пориста структура цементного каменю на 3, 20 і 60 добу в залежності від кількості тонкомолотого перліту, що вводиться (0–40% від маси цементу). Виявлено, що реакція перліту з продуктами гідратації призводить до зменшення пористості (загалом діаметром 6–40 нм). Крім того, доведено що тонкодисперсні добавки відіграють ролі центрів кристалізації, інтенсифікуючи гідратацію мінералів клінкеру [3].

У дослідженні [4] представлені дані вивчення гідратаційних процесів композитів з використанням дрібноздрібнених кварцвмісних і вапнякових мінералів, в ранні терміни твердіння. Було виявлено залежність інтенсифікації гідратації від зростання дозування добавки у в'язучому, і це було обґрунтовано можливістю мінеральної добавки відігравати роль точки дисипації або виділення тепла в системі.

Деякі дослідники роблять висновок, що механічна активація, наприклад, подрібнення золи-винесення, призводить до деструкції зольних агломератів, що дозволяє забезпечити доступ до активних поверхонь склоглобулітів, а це, у свою чергу, підвищує активність зол у композиційному в'язучому.

На думку Ramachandran V.S. [5], застосування механоактивованих компонентів в'язучих призводить до збільшення водопотреби, споживання води зростає практично прямо пропорційно кількості добавки. Однак адсорбційна плівка, що формується, призводить до зниження взаємодії між твердофазними молекулами в сто разів.

У дослідженнях Ушерова-Маршака А.В. з колегами [6] наводяться відомості, згідно з якими механоактивовані частинки добавок, наприклад, пил, що утворюється в результаті подрібнення вапняку, граніту, кристалічного сланцю, пісковіку тощо, крім позитивного ефекту на фізико-механічні властивості цементно-композиційного каменю та експлуатаційні характеристики бетонного композиту, крім того, позитивно впливають на показники водопоглинання, усадки та стійкості до корозії. Це пояснюється ущільненням структури отриманого композиту.

Тонко дисперсні компоненти в'язучих характеризуються широким спектром властивостей та технологічних прийомів [7]. Виявлено, що сировиною для мінеральних добавок у КВ ефективно

служить сировина, як техногенного так і природного походження. До техногенної сировини відносяться побічні продукти енергетичної промисловості (зола-шлакові відходи та золи віднесення різного хімічного складу); металургійної промисловості (вторинна окалина, шлак, формувальні піски) тощо.

З початку ХХ ст. ефективно застосовуються як сировина для виготовлення клінкеру, так і у вигляді дисперсних активних добавок *гранульовані доменні шлаки* [8]. Встановлено, що термічно оброблені шлаки часом показують високу активність. Оросзку Л. [9] вивчав тонкоподрібнений доменний гранульований шлак в композиційному в'язучому. Він довів, що в результаті подрібнення падає полімеризаційний ступінь алюмосилікатної матриці шлаку, і паралельно з цим деяка частка іонів Al змінює форму з тетраедричного на октаедричний, що характеризується слабкішим зв'язком, це сприяє однозначному зростанню пуцоланової активності гранульованого шлаку.

Досить розвинені наукові положення, а також масштабно технічно впроваджено застосування *золи-винесення* [8] та *золашлакових відходів* як компоненти в'язучих. Доведено можливість збільшення їх активності в результаті механохімічної активації, та, крім того, виявлено оптимальні їх дозування у різні види цементів.

У спекотних країнах як кремнеземвімісні добавки застосовується зола пальмової олії (palm oil fuel ash – POFA). Використання POFA як вторинний цементний матеріал може зменшити усадку в бетоні. POFA також може використовуватися як часткова заміна цементу для виробництва бетону, що самоущільнюється. Чим тонший розмір частинок POFA, тим вища міцність на стиск отриманого бетону [10]. Однак, використання POFA (як, втім, та інших зол) має тенденцію затримувати процес гідратації та збільшувати водопоглинання. Високий обсяг нано-POFA знижує теплоту гідратації цементного тесту. Дослідники повідомили про оптимальні пропорції часткової заміни цементу на POFA – від 10% до 20%, щоб отримати оптимальну міцність стиск бетону. Повідомлялося, що використання ультратонкої POFA дає міцність бетону до 90 МПа у віці 28 діб.

Певну пуцоланову активність мають порожнисті *алюмосилікатні мікросфери* (ценосфери). Присутність аморфного кремнезему та

невеликої кількості вапна може бути корисною при пуцоланових реакціях у системі на основі цементу.

Однією з найперспективніших активних добавок у в'язучі служить *мікрокремнезем* (МК), який є побічним продуктом металургії [8]. Кремнеземистий пил має дуже високу дисперсність близько 20 тис. м<sup>2</sup>/кг. Це призводить до її високої пуцоланової активності. Оптимальне дозування мікрокремнезему – близько 20% від маси в'язучого.

Однією з сучасних високоефективних активних добавок є високоактивний метакаолін (ВМК), що представляє собою аморфну кремнеземо-глиноземну суміш в рівних частинах [11]. Частинки ВМК досягають питомої поверхні 30 тис. м<sup>2</sup>/кг, що обумовлено розміром 1–5·10<sup>-5</sup> м і пластинчастою формою його частинок.

Практика показує позитивний досвід застосування як компонента в'язучого скляного порошку.

Крім промислових відходів як сировини для виробництва високодисперсних мінеральних добавок у КВ найчастіше застосовують різні *гірські породи осадового* (опоку, діатоміт, трепел) або *вулканічного* (цеоліти, туфи, попелу) генезису, проте саме утилізація відходів є необхідною умовою при розробленні сучасних будівельних композитів.

Органо-мінеральні комплексні добавки одержують, поєднуючи в єдину систему органічний та мінеральний компоненти, що мають конкретний модифікуючий ефект.

У ході аналізу розробок провідних світових наукових шкіл виявлено тенденцію масштабного дослідження напряду, пов'язаного з розробкою високоефективних КВ та бетонів на їх основі внаслідок застосування наномодифікаторів. Ряд досліджень довів, що наночастки, рівномірно розподілені в об'ємі цементного тісту, заповнюють пори, чим сприяють інтенсифікації гідратації, і, як наслідок, зміцненню цементного каменю, а також оптимізують мікроструктуру контактної зони цементного тіста із заповнювачем.

Для більшої інтенсифікації процесу структуроутворення та покращення фізико-механічних властивостей використовують активацію в'язучих [12]. Слід зазначити, що не всі існуючі методи знайшли впровадження у промислових масштабах. Це відбувається з різних причин. Зокрема, такі методи, як мікрохвильове нагрівання, ультразвукова обробка і термоакустична активація ще мало вивчені, і, промислові активатори ще не виготовлені. Такі методи, як

електрофізична активація та термообробка, досить енерговитратні, тому виробники не поспішають їх впроваджувати. Можна зробити висновок, що на сьогодні, основним методом активації, що застосовується у промислових масштабах, є механохімічна активація у млинах різного типу. Крім того, з екологічної точки зору, механоактивація дає можливість отримати найбільш стабільний матеріал. Стабільність властивостей активованого матеріалу досягається за рахунок вивільнення вільної внутрішньої енергії, що визначається дефектністю кристалічних ґрат.

**Висновки.** Застосування композиційних в'язучих різних складів дозволяє створювати композити із заздалегідь заданими фізико-механічними властивостями та експлуатаційними характеристиками. Однак, необхідно науково-експериментальне проектування складу, а також вибір технології модифікування та виготовлення в'язучих. При виборі сировини для композиційного в'язучого найбільш ефективними є компоненти, що зазнали впливу геологічних та техногенних процесів. З усіх сучасних методів активації в'язучого, що найповніше відтворюються в промислових умовах, найкращу ефективність дає механічна та механохімічна активація в млинах різного принципу дії. Однак, необхідно визначити спосіб подрібнення та оптимальну тонину помелу, щоб зберегти частину відносно великих зерен (мікробетон), відповідальних за збільшення міцності бетону в ході експлуатації.

1. Рунова Р. Ф., Дворкін Л. Й., Дворкін О. Л., Носовський Ю. Л. В'язучі речовини : підручник. К. : Основа, 2012. 448 с. 2. Neville A. M., Brooks J. J. Concrete Technology. 2th ed. Harlow : Pearson, 2010. 442 p. 3. Xiao J., Li W., Fan Y., Huang X. An overview of study on recycled aggregate concrete in China (1996–2011). *Construction and Building Materials*. June 2012. Vol. 31. P. 364–383. URL: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.074> (дата звернення: 10.11.2023). 4. Larbi J. A., Bijen J. M. Effect of water-cement ratio, quantity and fineness of sand on the evolution of lime in set portland cement systems. *Cem. and Concr. Res.* 1990. Vol. 20. № 5. P. 783–794. 5. Ramachandran V. S., Feldman R. F., Beaundoin J. J. Concrete science Treatise on Current Research. London : Philadelphia: Rheine. Heyden, 1981. P. 227. 6. Ушеров-Маршак А. В., Циак М., Першина Л. А. Совместимость цементов с химическими и минеральными добавками. *Цемент и его применение*. 2002. № 6. С. 6–8. 7. Varabash I., Harashchenko D. Mechanoactivation of portland cement in the technology of manufacturing the self-compacting. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2018.

№ 3(6). С. 12–17. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte\\_2018\\_3%286%29\\_3](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2018_3%286%29_3) (дата звернення: 10.11.2023). **8.** Штарк Йохен, Вихт Берид. Цемент и известь / пер. с нем. А. Тулаганова / под ред. П. Кривенко. Киев, 2008. 480 с. **9.** Opoczky L. Kohosalak mechanikai akti-valasa finomorlesse. *Epitoanyag.* 1990. Vol. 42. № 3. P. 81–84. **10.** Sumesh M., Johnson Alengaram U., Jumaat Z., Mo K. H. Microstructural and Strength Characteristics of High-Strength Mortar Using Nontraditional Supplementary Cementitious Materials. *Journal of Materials in Civil Engineering.* 2019. Vol. 31(4). URL: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0002626](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002626) (дата звернення: 10.11.2023). **11.** Дворкін Л. Й., Лушнікова Н. В., Рунова Р. Ф., Троян В. В. Метакаолін в будівельних розчинах і бетонах : монографія. К. : Видавництво КНУБіА, 2007. 216 с. **12.** Барабаш І. В., Ксьоншкевич Л. М., Гаращенко Д. П. Вплив багатоконпонентних добавок на ефективну в'язкість механоактивованих цементовмісних суспензій. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту.* 2017. Вип. 167. С. 96–101. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpudazt\\_2017\\_167\\_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpudazt_2017_167_12) (дата звернення: 10.11.2023).

## REFERENCES:

**1.** Runova R. F., Dvorkin L. Y., Dvorkin O. L., Nosovskyi Yu. L. Viazhuchi rehovyny : pidruchnyk. K. : Osnova, 2012. 448 s. **2.** Neville A. M., Brooks J. J. Concrete Technology. 2th ed. Harlow : Pearson, 2010. 442 p. **3.** Xiao J., Li W., Fan Y., Huang X. An overview of study on recycled aggregate concrete in China (1996–2011). *Construction and Building Materials.* June 2012. Vol. 31. P. 364–383. URL: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.074> (data zvernennia: 10.11.2023). **4.** Larbi J. A., Bijen J. M. Effect of water-cement ratio, quantity and fineness of sand on the evolution of lime in set portland cement systems. *Cem. and Concr. Res.* 1990. Vol. 20. № 5. P. 783–794. **5.** Ramachandran V. S., Feldman R. F., Beaundoin J. J. Concrete science Treatise on Current Research. London : Philadelphia: Rheine. Heyden, 1981. P. 227. **6.** Usherov-Marshak A. V., Tsyak M., Pershyna L. A. Sovmestymost tsementov s khymycheskymy y myneralnymy dobavkamy. *Tsement y eho pryomenenye.* 2002. № 6. S. 6–8. **7.** Barabash I., Harashchenko D. Mechanoactivation of portland cement in the technology of manufacturing the self-compacting. *Vostochno-Evropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnolohiyi.* 2018. № 3(6). S. 12–17. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte\\_2018\\_3%286%29\\_3](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2018_3%286%29_3) (data zvernennia: 10.11.2023). **8.** Shtark Yokhen, Vykht Beryd. Tsement y yzvest / per. s nem. A. Tulahanova / pod red. P. Kryvenko. Kyev, 2008. 480 s. **9.** Opoczky L. Kohosalak mechanikai akti-valasa finomorlesse. *Epitoanyag.* 1990. Vol. 42. № 3. P. 81–84. **10.** Sumesh M., Johnson Alengaram U., Jumaat Z., Mo K. H. Microstructural

and Strength Characteristics of High-Strength Mortar Using Nontraditional Supplementary Cementitious Materials. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2019. Vol. 31(4). URL: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0002626](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002626) (data zvernennia: 10.11.2023). **11.** Dvorkin L. Y., Lushnikova N. V., Runova R. F., Troian V. V. Metakaolin v budivelnykh rozchynakh i betonakh : monohrafiia. K. : Vydavnytstvo KNUBiA, 2007. 216 s. **12.** Barabash I. V., Ksonshkevych L. M., Harashchenko D. P. Vplyv bahatokomponentnykh dobavok na efektyvnu viazkist mekhanoaktyvovanykh tsementovmisnykh suspensii. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoho derzhavnoho universytetu zaliznychnoho transportu*. 2017. Vyp. 167. S. 96–101. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpudazt\\_2017\\_167\\_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpudazt_2017_167_12) (data zvernennia: 10.11.2023).

---

**Huseinov O. A., Post-graduate Student, Zaporozhets V. I.,  
Post-graduate Student** (Prydniprovska State Academy of Construction and Architecture, Dnipro)

## **NEW GENERATION COMPOSITE BINDERS: EXPERIENCE, STATE OF THE ISSUE**

**In the conditions of energy and resource conservation, as well as improvement of the environmental condition, the problem of creating less energy-intensive binders (composite binders), which is an effective alternative to widespread cements, is increasingly becoming relevant. Composite binders (CB) are a mixture of a hydraulic binder, a silica-containing component and various modifiers, contributing to the optimization of the specified characteristics of the final products. To date, a significant number of different composite binders have been developed and tested, unique both from the point of view of environmental protection and profitable in terms of capital investments, as well as manufactured and tested on an industrial scale. At the same time, knowing all the advantages of such compositions, these composites do not have the deserved volume of production capacity in cement and concrete factories and sales markets. Therefore, the development and research of compositions of composite binders and concrete based on them is relevant at the current stage. On the way to creating and using CB, there are tasks that must be solved in each specific case. To conduct a theoretical study on the study of the previous experience of creating composite**



**binders, effective raw materials, advantages and disadvantages, the current state and prospects for development. The use of composite binders of different compositions allows creating composites with predetermined physical and mechanical properties and operational characteristics. However, scientific and experimental design of the composition is necessary, as well as the choice of technology for the modification and production of binders. When choosing raw materials for a composite binder, the most effective are the components that have been affected by geological and man-made processes. For greater intensification of the process of structure formation and improvement of physical and mechanical properties, activation is used.**

***Keywords:* composite binders; silica-containing components; modifiers; activation.**