

БУДІВНИЦТВО СТРОИТЕЛЬСТВО CIVIL ENGINEERING

УДК 691.3:666:712.1.002

В. П. Очеретний, к. т. н., доц., В. П. Ковальський, М. П. Машницький, студ.

В. П. Очеретный, к. т. н., доц., В. П. Ковальский, Н. П. Машницкий, студ.

V. Ocheretnyy, Cand. Sc. (Eng.), V. Kovalskyy, M. Mashnytskyy, Student

АКТИВАЦІЯ КОМПОНЕНТІВ ЦЕМЕНТНОЗОЛЬНИХ КОМПОЗИЦІЙ ЛУЖНИМИ ВІДХОДАМИ ГЛИНОЗЕМНОГО ВИРОБНИЦТВА

АКТИВАЦИЯ КОМПОНЕНТОВ ЦЕМЕНТНОЗОЛЬНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ЩЕЛОЧНЫМИ ОТХОДАМИ ГЛИНОЗЕМНОГО ПРОИЗВОДСТВА

COMPONENT ACTIVATION OF CEMENT-ASH COMPOSITIONS BY ALUMINA PRODUCTION ALKALINE WASTES

Дано загальну характеристику методам переробки та використання відходів підприємств металургійних та теплоенергетичних галузей. Обґрунтована актуальність використання бокситового червоного шламу для активації компонентів цементнозольних композицій, за рахунок його фізико-хімічних властивостей, які дозволяють керувати фізико-механічними властивостями цементнозольних композицій. Експериментально підтверджено позитивний вплив червоного шламу в якості комплексної активної добавки в цементнозольні композиції.

Дана общая характеристика методам переработки и использования отходов предприятий металлургических и теплоэнергетических отраслей. Обоснована актуальность использования бокситового красного шлама для активации компонентов цементнозольных композиций, за счет его физико-химических свойств, которые дают возможность управлять физико-механическими свойствами цементнозольных композиций. Экспериментально подтверждено положительное влияние красного шлама в качестве комплексной активной добавки в цементнозольные композиции.

The paper suggests general characteristics of processing methods and usage of metallurgical and heat power industries waste. The actuality of using bauxite red slag for cement-ash compositions activation due to its physical and mechanical properties which allow to control physical and mechanical properties of cement-ash compositions has been substantiated. Positive impact of red slag as a complex active admixture to cement-ash composition has been experimentally proved.

Вступ

Постійне підвищення цін на енергоносії в Україні спричиняє пошук нових енерго- і ресурсозбережних технологій у виробництві бетонних та залізобетонних виробів. Чільне місце в цьому ряду займають механічні методи активації мінеральних в'язучих. Внаслідок додаткової активації в млинах дисперсних відходів промисловості можна одержувати кондиційні будівельні матеріали з мінімальною витратою цементу. Як показали фізичні дослідження, внаслідок зіткнення двох твердих тіл в локальній зоні, виникає емісія електронів, руйнування кристалічних ґраток, підвищення температури, розвиток пластичних деформацій та виникнення мікротріщин. В комплексі це приводить до підвищення хімічної активності в'язучих та прискорення дифузних процесів, що зумовлює якісну зміну структури та підвищення показників якості кінцевого продукту.

Механохімічна активація без ускладнень вписується в існуючі технологічні схеми виробництва розчинових та бетонних сумішей. Це дозволяє повніше розкрити потенційні можливості мінера-

льних в'язучих і вирішувати задачі підвищення якості матеріалів на їх основі і зниження енерго- і матеріалоємності.

Вступление

Постоянное повышение цен на энергоносители в Украине служит причиной поиска новых энерго- и ресурсосберегающих технологий при производстве бетонных и железобетонных изделий. Главное место в этом ряду занимают механические методы активации минеральных вяжущих. Вследствие дополнительной активации дисперсных отходов промышленности в мельницах можно получать кондиционные строительные материалы с минимальной затратой цемента. Как показали физические исследования, вследствие столкновения двух твердых тел в локальной зоне возникает эмиссия электронов, разрушение кристаллической решетки, повышение температуры, развитие пластических деформаций и возникновение микротрещин. В комплексе это ведет к повышению химической активности вяжущих и ускорению диффузных процессов, что обуславливает качественное изменение структуры и повышение показателей качества конечного продукта.

Механохимическая активация без осложнений вписывается в существующие технологические схемы производства растворных и бетонных смесей. Это разрешает более полно раскрыть потенциальные возможности минеральных вяжущих и решать задачи повышения качества материалов на их основе и снижения энерго- и материалоемкости.

Introduction

Constant increase in energy resources prices in Ukraine causes the search of new energy resources and energy- saving technologies in concrete and reinforced concrete manufacture. A significant role is played by methods of mineral binders activation. Due to additional activation of disperse industrial waste in mills it is possible to obtain conditioned building materials with minimum cement expenditures. As a result of collision of two solid bodies in local zone, as physical research showed, the electron emission, crystal cells destruction, temperature rise, plastic deformation and development of micro-cracks occur. As a result it leads to the increase of binders chemical activity and acceleration of diffusion processes which results in qualitative structure change and increase of end product quality.

Mechanical-chemical activation without any complications is possible within the existing technological manufacture schemes of solutions and concrete mixtures. This allows to reveal the potential possibilities of mineral binders and to solve the problems dealing with quality improvement, reduction of energy and material consumption.

Аналіз методів активації та характеристика сировинних матеріалів

Питанням раціонального використання і економії цементу завжди приділялась велика увага. Ще в 30-ті роки було доведено, що із заміною піском 30 % цементу і подальшим помолом в млинах, за рахунок домелення клінкерної складової (активації), підвищується рівень міцності вихідного цементу.

Серед відомих способів підвищення активності заповнювачів можна виділити промивання заповнювачів та їх механічну обробку; раціональний підбір складу бетону, а також спеціальне перемішування та ущільнення бетонної суміші; використання реакційноздатних заповнювачів, а також подрібненого клінкеру; обробку заповнювачів клеями або насичення ними пористих заповнювачів з наступним обпудрюванням дисперсними мінеральними речовинами; попередню обробку заповнювачів поверхнево-активними речовинами [1, 2]. Підвищення зчеплення елементів структури бетону досягається за рахунок ущільнення цементного каменю спеціальними добавками, що вводять з водою замішування; введення добавок безпосередньо в зону контакту шляхом попереднього насичення пористих заповнювачів спеціальними речовинами; обробки заповнювача різними кислотами та розбавленими розчинами електролітів.

Найперспективнішими для використання у виробництві будівельних матеріалів з точки зору мінералогічного та хімічного складів є відходи теплоенергетичної галузі, які представлені золою-виносом ТЕС, та відходи глиноземного виробництва, — червоний бокситовий шлам Миколаївського глиноземного заводу.

Зола-винос використовується у виробництві цементу, ніздрюватих бетонів, пористих наповнювачів, будівельної кераміки та інших матеріалів. Використання зол, як активних мінеральних добавок, зумовлено їх здатністю взаємодіяти з $\text{Ca}(\text{OH})_2$ і створювати водостійкі гідросилікати і гід-

роалюмінати кальцію. З іншого боку, наявність на поверхні частинок золи-виносу склоподібних плівок покращує пластичність сумішей, а частинки золи виконують функції дрібнодисперсних кульок, що покращує мікроструктуру композиційних матеріалів (рис. 1).

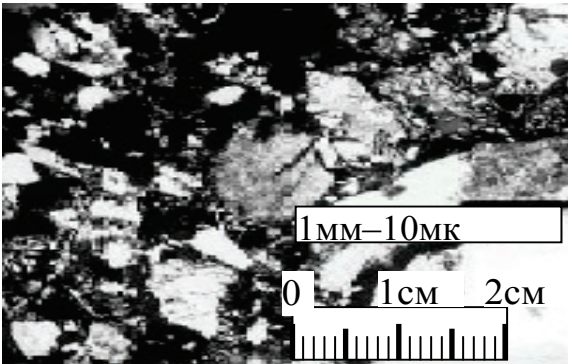


Рис. 1. Мікроструктура золи-виносу (збільшена 100 разів)
 Рис. 1. Микроструктура золи-виносу (увеличенная 100 раз).
 Fig. 1. Microstructure of fly-ash (100 times magnified)

Гідравлічна активність різноманітних металургійних шлаків, золи-виносу залежить від їх хімічного складу та дисперсності. Результати мікроскопічних досліджень (рис. 1) свідчать, що мікроструктура низькокальцієвої золи-виносу (70...80 %) — скловидна алюмосилікатна фаза у вигляді частинок кулеподібної форми розміром до 100 мкм [9]. Хімічний склад золи-виносу знаходиться в межах (%): SiO₂ — 55,3; TiO₂ — 1,4; Al₂O₃ — 22,34; Fe₂O₃ — 5,42; FeO — 2,52; MgO — 0,12; MnO — 5,96; CaO — 5,96; Na₂O — 0,75; K₂O — 2,46; SO₃ — 0,38; P₂O₅ — 0,33.

Реакційноздатність золи-виносу забезпечується лужним розчином і залежить від іонної сили алюмосилікатної складової та характеру лужного компонента [3, 4].

Скло в золах можна розглядати як матеріал, що містить аморфіти — утворення, близькі за складом і структурою відповідним кристалічним фазам, але з надмірно високою питомою поверхнею, і неупорядковані глиноземисто-кремнеземисті прошарки між ними. Здатність скловидної фази до гідратації та гідролізу можна пояснити пористою мікроструктурою і відносно високою проникністю аморфітів, що зумовлено наявністю порожнин між іонними угрупованнями. Активність проміжної речовини склоподібної фази визначається співвідношенням глинозему і кремнезему: чим воно більше, тим легше йде процес гідратації зольного скла в лужному та сульфатно-лужному середовищі, а у нейтральному середовищі воно стійке. Розчинність глинозему і кремнезему показана на рис. 2 [6].

Розглянувши графіки а і б на рис. 2, чітко видно, що зі збільшенням рН системи до 10,2 значно зростає розчинність глинозему та кремнезему. Тому, як хімічний реагент у процесі активації золи-виносу, пропонується використовувати багатотонажні відходи бокситового шламу, які містять у собі (Na₂O + K₂O) до 6 %. Проблема утилізації бокситових шлаків може вирішуватись шляхом їх комплексної переробки з послідовним отриманням цілого ряду цінних продуктів — чавуну, глинозему, цементу та луку.

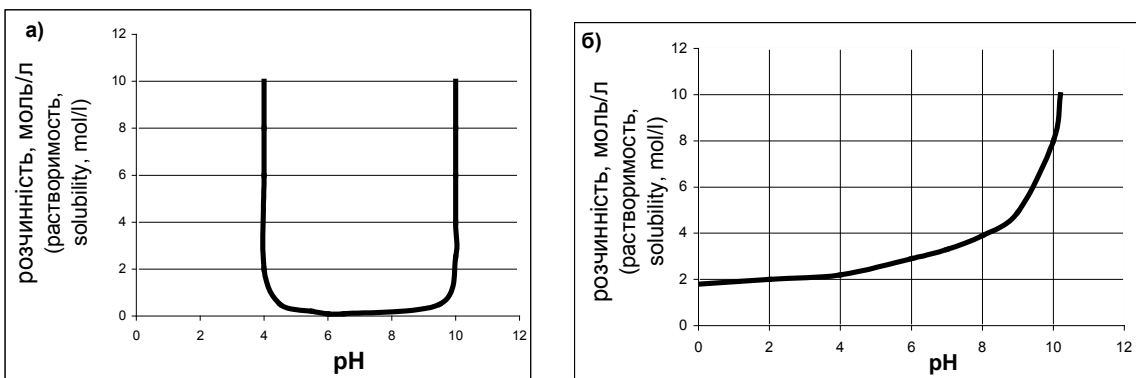


Рис. 2. Залежність розчинності компонентів золи-виносу від рН:
 а) розчинність Al₂O₃; б) розчинність SiO₂
 Рис. 2. Зависимость растворимости компонентов золи-виносу от рН: а) растворимость Al₂O₃;
 б) растворимость SiO₂
 Fig. 2. Dependence of fly-ash components solubility: a) solubility of Al₂O₃; b) solubility of SiO₂

Червоний шлам характеризується цінними фізико-хімічними властивостями, які дозволяють керувати властивостями бетонів. Характерними особливостями червоного шламу, як лужного мікронаповнювача, є лужна реакція (рН до 12) та дрібнодисперсна будова — 90 % частинок має радіус менше 10 мкм [7]. Вміст оксидів в складі червоного шламу знаходиться в таких межах (ваг. %): SiO₂ — 9,5...11,1; TiO₂ — 4,4...5,6; Al₂O₃ — 17,0...19,0; Fe₂O₃ — 39,0...43,0; CaO — 7,6...9,5; Na₂O — 6,2...6,9; P₂O₅ — 0,2...0,3; V₂O₅ — 0,2 — 0,25; в. п. п 7,9...10,5.

З усією очевидністю численні дослідження і виробничий досвід свідчать, що краще використовувати природні добавки і золи, які не потребують помолу, або ті, які легко розмелюються і мають гідравлічну активність.

Результати досліджень

Метою даної роботи є дослідження впливу бокситового шламу на хімічну активацію золи-виносу, а також на фізико-механічні властивості композиційних матеріалів, отриманих на золоцементному в'язучому.

Для виготовлення штучних композиційних матеріалів на золо-цементному в'язучому в якості активної добавки в дослідженнях використовувалася зола-винос Ладижинської ТЕС. Її активація здійснювалася лужними відходами глиноземного виробництва, отриманими в результаті реакції вилуження розчином їдкого натру, глинозему з мелених бокситів. Характерною особливістю золи-виносу є високий вміст в її складі активних компонентів глинозему і кремнезему. Для збільшення швидкості і ступеня взаємодії активних компонентів золи-виносу з $\text{Ca}(\text{OH})_2$ необхідне механічне чи хімічне руйнування або, як мінімум, пошкодження склоподібної оболонки зольних частинок [8].

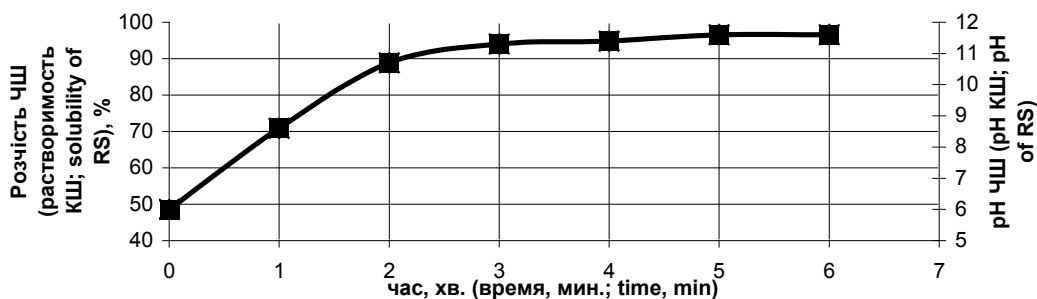


Рис. 3. Розчинність лугів червоного шламу у воді
 Рис. 3. Растворимость щелочей красного шлама в воде
 Fig. 3. Red slag alkali solubility in water

У результаті досліджень визначено період максимального розчинення лугів червоного шламу у воді (рис. 3). На рис. 3 видно, що червоний шлам, розчинений у воді, вже через 5 хв. досягає максимального значення $\text{pH} = 11,6$. Дослідження pH розчину проводили за допомогою приладу pH -метр 125.

Для реалізації робочої гіпотези щодо підвищення ефективності гідравлічного потенціалу золи-виносу під час розробки ефективних золо-цементних композиційних матеріалів з використанням ідеї роздільного бетонування авторами було прийнято декілька наукових передумов:

1. Гідравлічна активність золи-виносу може бути суттєво збільшена за рахунок руйнування склоподібних покриттів на її поверхні.

2. Руйнування поверхневих плівок на золі-виносу може бути здійснено хімічною активацією лужними домішками, які містяться в бокситовому шламі, та за рахунок механічної активації в бігунах.

3. Фізико-механічні властивості композиційних матеріалів, отриманих на золоцементному в'язучому, покращаться за рахунок використання червоного шламу як мікронаповнювача.

Вважаємо, що з введенням бокситового шламу в цементно-зольну суміш слід очікувати зміну фазового складу новоутворень, за рахунок взаємодії оксидів заліза та алюмінію з продуктами гідратації клінкерних мінералів.

В роботі [9] за результатами рентгенівського аналізу та електронної мікроскопії встановлено, що в перехідній зоні «метал-цементне тісто» інтенсивно утворюється гідрооксид кальцію.

У цементах, що містять підвищену кількість заліза, може бути присутнім двокальцієвий ферит, який в результаті гідратації дає двокальцієвий гідроферит $2\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$. Ця сполука в розчинах $\text{Ca}(\text{OH})_2$ переходить у $3\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$, а за деякими даними — переходить у $4\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot 13\text{H}_2\text{O}$. При цьому варто підкреслити, що три- і чотирікальцієві гідроалюмінати і гідроферити тих же складів при одночасному утворенні дають тверді розчини з загальними формулами: $3\text{CaO}\cdot(\text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3)\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ і $4\text{CaO}\cdot(\text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3)\cdot 13\text{H}_2\text{O}$.

Ефективність активації заповнювачів пов'язана зі збільшенням міцності зчеплення цементного

каменю із заповнювачем. Загальним є підвищення ступеня ізотропності фізико-механічних характеристик в'язучого на всіх етапах тверднення. Ці дані підтверджені результатами визначення експлуатаційних властивостей, з яких водопоглинання є важливою характеристикою, що пов'язана з пористістю бетону, його щільністю, а також з корозійно- та морозостійкістю. Водопоглинання бетонів на заповнювачах, активованих розчинами кислот, солей, лугів, зменшується в середньому на 18...21 %. Способи підвищення зчеплення елементів зони контакту бетону враховують геометрію, фізичну та хімічну природу заповнювача, специфіку утворення гідратів і мінеральної підкладки, особливості формування структури бетону на трьох ієрархічних рівнях.

Для детальної перевірки робочої гіпотези щодо підвищення ефективності гідравлічного потенціалу золи-виносу було виготовлено сім серій зразків-балочок розмірами 40 × 40 × 160 мм з різним вмістом червоного шламу. Вміст портландцементу, водо-твердне (В/Т) відношення та умови тверднення залишали сталим. Склад цементно-золиних сумішей наведено в таблиці.

Склад цементно-золиних сумішей
Состав цементно-золиных смесей
 Composition of formed mixtures

№ серій зразків (№ серій образцов № of sample series)	Вміст компонентів (Состав компонентов Component content)			
	Зола-винос (Зола-вынос Fly-ash)	Червоний шлам (Красный шлам Red slag)	Портландцемент (Портландцемент Portland cement)	В/Т (В/Т W/S)
1	100	0	10	0,2
2	85	15	10	0,2
3	70	30	10	0,2
4	55	45	10	0,2
5	40	60	10	0,2
6	25	75	10	0,2
7	0	100	10	0,2

Технологія приготування суміші включає в себе такі стадії. Суміш, у відповідному співвідношенні золи-виносу, червоного шламу та портландцементу, перемішували в змішувачі протягом 5 хв. Потім добавляли воду та формували зразки-балочки розміром 4×4×16 см. Відформовані зразки витримувались 12—16 годин при температурі 20 ± 2 °С, після чого пропарювались при температурі 80...85 °С за режимом «2 + 4 + 2».

Показники хімічної руйнації поверхні частинок золи-виносу бокситовим шламом оцінювали за консистенцією сумішей, яка визначалася за допомогою струшувального столика та за максимальною границею міцності в процесі стискання половинок балочок. Результати проведених досліджень відображені на рис. 4.

На рис. 4 простежується, що розтікання золошламових сумішей із заміною бокситовим шламом до 30 % золи при постійному В/Т дає незначне збільшення розтікання суміші від 17,1 см до 18,2 см. Це пов'язано з пластифікуючими властивостями бокситового шламу. Пластичність бокситового шламу наведена в роботах Рахимбаєва, Бураєва, Чагая та ін. [10—12]. Замінюючи золу в межах 45 % бокситовим шламом, спостерігається значне зменшення розтікання суміші. Зміна розтікання суміші, активованої лужним бокситовим шламом, за інших рівних умов, підтверджує руйнування склоподібної оболонки золи, що проявляється у зменшенні текучості суспензії.

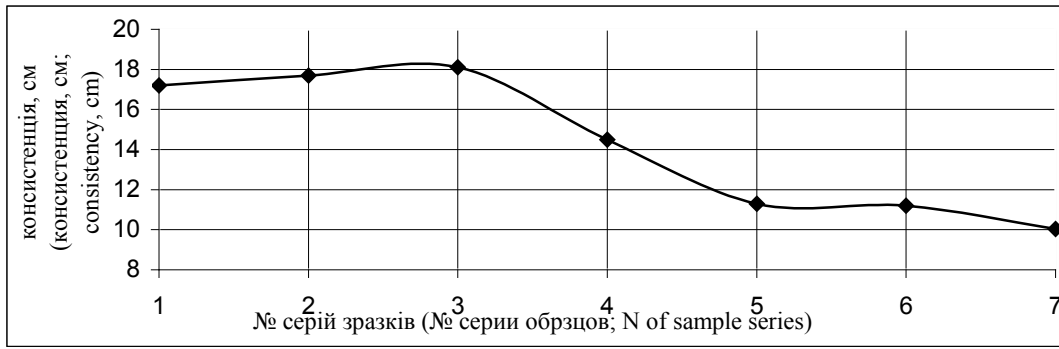


Рис. 4. Вплив бокситового шламу на рухливість комплексного в'язучого
 Рис. 4. Влияние бокситового шламу на подвижность комплексного вяжущего
 Fig. 4. Influence of bauxite slag on the complex binder mobility

Для підтвердження позитивних властивостей бокситового шламу, як ефективного мікронаповнювача, була визначена середня щільність золошламової суміші. Вплив бокситового шламу на середню щільність суміші відображено на рис. 5.

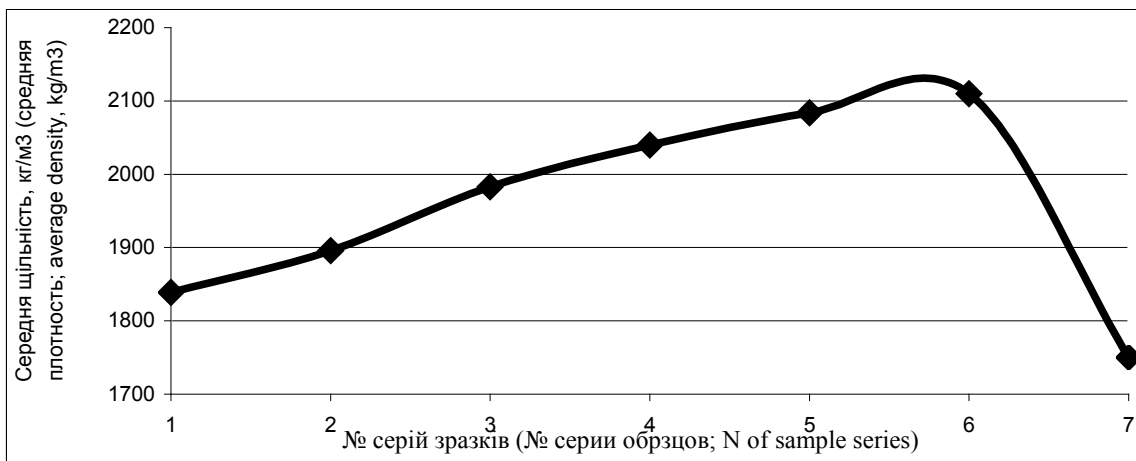


Рис. 5. Залежність середньої щільності від складу комплексного в'язучого
 Рис. 5. Зависимость средней плотности от состава комплексного вяжущего
 Fig. 5. Average density dependence on complex binder composition

Проаналізувавши зміну середньої щільності (рис. 5), встановили закономірність зростання середньої щільності на 3 % в разі заміни золи бокситовим шламом на 15 %. Загальне збільшення щільності між першою та шостою серіями зразків складає 14,7 %. Підвищення середньої щільності свідчить про зменшення пористості, що, в свою чергу, зменшує водопоглинання та збільшує водостійкість даного золошламового в'язучого за наявності гідратних новоутворень. На рис. 6 показана залежність коефіцієнта розм'якшення від складу золошламового в'язучого. В результаті аналізу цієї залежності встановлено, що вміст бокситового шламу в межах до 45 % позитивно впливає на водостійкість золошламового в'язучого. Підвищення водостійкості на 24 %, зумовлено, на нашу думку, збільшенням кількості гідратних новоутворень за рахунок хімічної активації золи-виносу та введення активної мінеральної алюмоферитної добавки.

Для підтвердження позитивного впливу бокситового шламу на руйнацію склоподібної поверхні та підвищення в'язучих властивостей золи-виносу встановлено залежність міцності золошламового в'язучого від співвідношення золи-виносу та бокситового шламу. Результати досліджень показані на рис. 7.

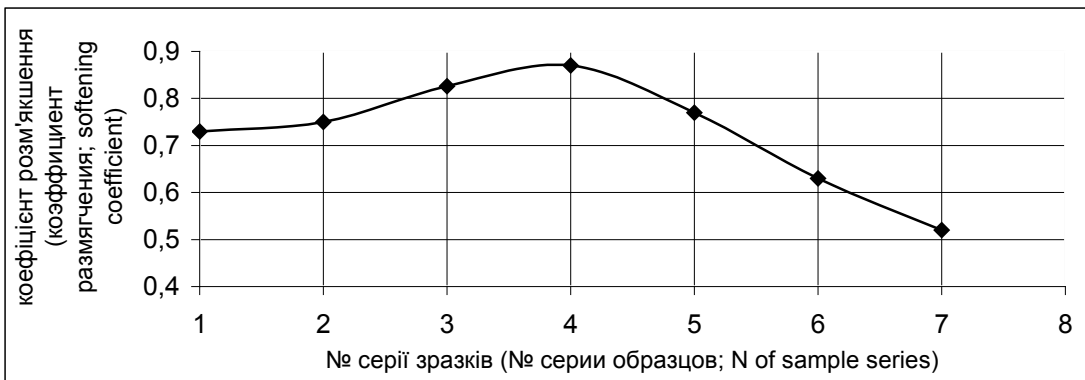


Рис. 6. Вплив бокситового шламу на водостійкість комплексного золошламового в'язучого
 Рис. 6. Влияние бокситового шлама на водостойкость комплексного золошламового вяжущего
 Fig. 6. Bauxite slag influence on complex ash- slag binder water resistance

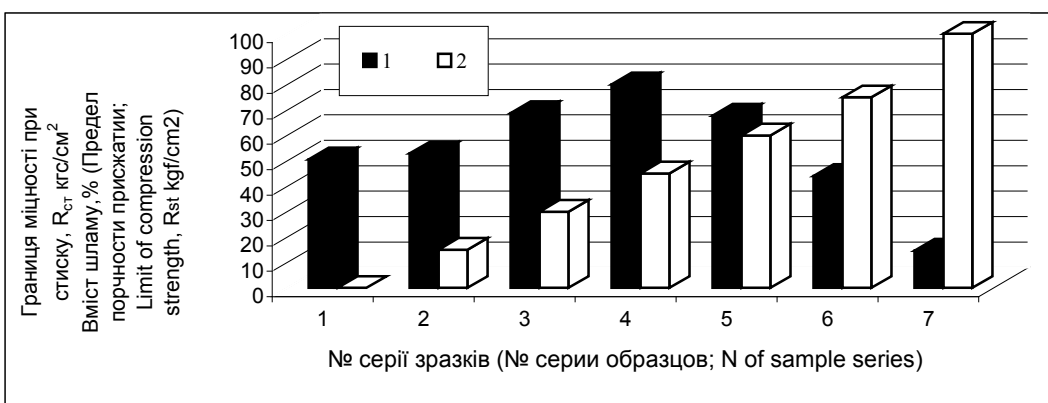


Рис. 7. Залежність границі міцності від вмісту бокситового шламу:
 1 — границя міцності під час стискання; 2 — вміст бокситового шламу
 Рис. 7. Зависимость границы прочности от содержания бокситового шлама:
 1 — граница прочности при сжатии; 2 — содержание бокситового шлама.
 Fig. 7. Dependence of strength limit on bauxite slag content:
 1 — Compression strength limit; 2 — bauxite slag content

За результатами досліджень (рис. 7) встановлено, що ріст міцності спостерігається в разі заміни золи бокситовим шламом в діапазоні від 15 % до 45 %. В загальному приріст міцності складає приблизно 58 %, коефіцієнт розм'якшення збільшився на 14 %, а водопоглинання зменшується на 6 % в порівнянні з 1 серією зразків. Заміна золи бокситовим шламом на 65 % і більше призводить до зниження границі міцності при стискання. Це пояснюється недостатньою кількістю золи-виносу та відсутністю гідравлічної активності в бокситовому шламі.

Повторне змелювання лежалих цементів дозволяє збільшити його активність при підвищеному вмісті мінеральних добавок. Дослідження, проведені Поліщуком, Запольським, Куликовою у роботах [13—15], показали можливість застосування бокситового шламу як добавки до цементного клінкеру перед його змелюванням. Так, добавка 5 % шламу істотно збільшує подрібнення і марочну міцність цементу.

Внаслідок проведення огляду літературних джерел та попередніх експериментальних досліджень нами була висунута така гіпотеза: руйнування поверхневих плівок на золи-виносі може бути здійснено в разі спільного змелювання в бігунах портландцементу, золи-виносу та бокситового шламу. У цьому випадку бокситовий шлам виступає в ролі абразивного матеріалу щодо золи-виносу і портландцементу. Завдяки цьому, ми вважаємо, що підвищуються механічні властивості композиційного в'язучого, отриманого на основі відходів промисловості.

Для проведення досліджень використовувались склади в'язучого, наведенні в таблиці. Результати залежності границі міцності від часу механічної активації в бігунах показані на рис. 8.

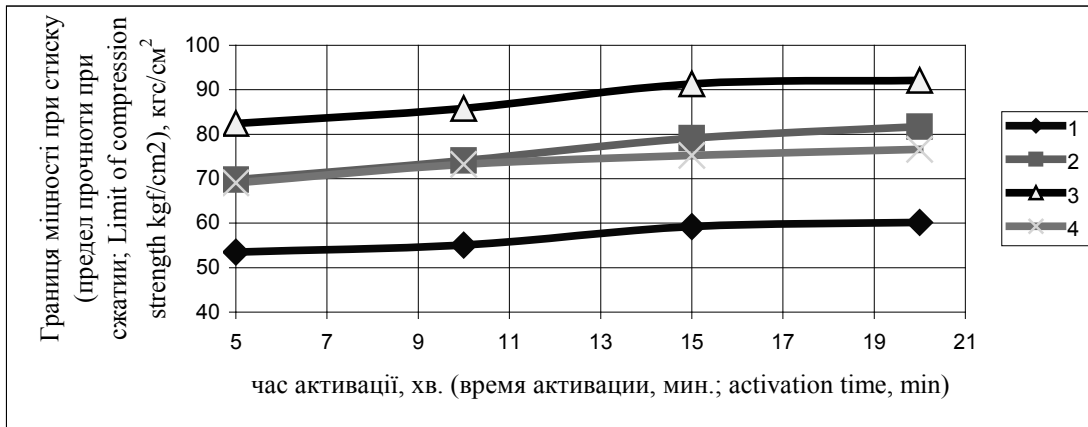


Рис. 8. Залежність границі міцності від вмісту бокситового шламу та періоду активації:

1 — вміст бокситового шламу 15 %; 2 — вміст бокситового шламу 30 %; 3 — вміст бокситового шламу 45 %; 4 — вміст бокситового шламу 60 %

Рис. 8. Зависимость границы прочности от содержания бокситового шлама и периода активации:

1 — содержание бокситового шлама 15 %; 2 — содержание бокситового шлама 30 %; 3 — содержание бокситового шлама 45 %; 4 — содержание бокситового шлама 60 %

Fig. 8. Dependence of the strength limit on bauxite slag content and activation period: 1 — bauxite slag content 15 %; 2 — bauxite slag content 30 %; 3 — bauxite slag content 45 %; 4 — bauxite slag content 60 %

Таким чином, на підставі всього комплексу проведених експериментальних досліджень підтвердилась робоча гіпотеза. Вивчення механізмів контактних взаємодій в наповнених композиційних матеріалах шляхом активації наповнювачів свідчить про збільшення адгезії до мінерального в'язучого і підвищення структуроутворювальної ролі самого наповнювача. В результаті руйнування склоподібних плівок на поверхні золи-виносу забезпечуються кращі умови вилугування гідрату глинозему і створення високо- і низькоосновних гідросилікатів кальцію і гідрогранатів, що й забезпечує приріст міцності матеріалу.

Анализ методов активации и характеристика сырьевых материалов

Вопросам рационального использования и экономии цемента всегда отводилось большое внимание. Еще в 30-е годы было доказано, что с заменой песком 30 % цемента и последующим помолом в мельницах, за счет доизмельчения клинкерной составляющей (активации), повышается предел прочности исходного цемента.

Среди известных способов повышения активности заполнителей можно выделить промывание заполнителей и их механическую обработку; рациональный подбор состава бетона, а также специальное перемешивание и уплотнение бетонной смеси; использование реакционноспособных заполнителей, а также измельченного клинкера; обработку заполнителей клеями или насыщение ними пористых заполнителей с последующим опудриванием дисперсными минеральными веществами; предварительную обработку заполнителей поверхностно-активными веществами [1, 2]. Повышение сцепления элементов структуры бетона достигается за счет уплотнения цементного камня специальными добавками, которые вводят с водой при смешивании; введение добавок непосредственно в зону контакта путем предыдущего насыщения пористых заполнителей специальными веществами; обработки заполнителя разными кислотами и разбавленными растворами электролитов.

Наиболее перспективными для использования при производстве строительных материалов с точки зрения минералогического и химического составов являются отходы теплоэнергетической отрасли — зола-вынос ТЭС и отходы глиноземного производства — красный бокситовый шлам Николаевского глиноземного завода.

Зола-вынос используется в производстве цемента, ячеистых бетонов, пористых наполнителей, строительной керамики и других материалов. Использование зол, как активных минеральных добавок, обусловлено их способностью взаимодействовать с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и создавать водостойкие гидросиликаты и гидроалюминаты кальция. С другой стороны, наличие на поверхности частичек золы-выноса стекловидных пленок улучшает пластичность смесей, а частички золы выполняют функции мелкодисперсных шариков, которые улучшают макроструктуру композиционных материалов (рис. 1).

Гидравлическая активность разнообразных металлургических шлаков, золы-выноса зависит от их химического состава и дисперсности. Результаты микроскопических исследований (рис. 1) свиде-

тельствуют, что микроструктура низкокальциевой золы-выноса (70—80 %) — стеклообразная алюмосиликатная фаза в виде частичек шарообразной формы размером до 100 мкм [9]. Химический состав золы-выноса находится в пределах (%): SiO_2 — 55,3; Ti_2 — 1,4; Al_2O_3 — 22,34; Fe_2O_3 — 5,42; Fe — 2,52; Mg — 0,12; Mn — 5,96; Ca — 5,96; Na_2O — 0,75; K_2O — 2,46; SO_3 — 0,38; P_2O_5 — 0,33.

Реакционноспособность золы-выноса обеспечивается щелочным раствором и зависит от ионной силы алюмосиликатной составляющей и характера щелочного компонента [3, 4].

Стекло в золах можно рассматривать как материал, который содержит аморфиты — образования, близкие по составу и структуре соответствующим кристаллическим фазам, но с очень высокой удельной поверхностью, и неупорядоченные глиноземисто-кремнеземистые прослойки между ними. Способность стеклообразной фазы к гидратации и гидролизу можно объяснить пористой микроструктурой и относительно высокой проницаемостью аморфитов, что обусловлено наличием полостей между ионными группировками. Активность промежуточного вещества стеклообразной фазы определяется соотношением глинозема и кремнезема: чем оно больше, тем легче идет процесс гидратации зольного стекла в щелочной и сульфатно-щелочной среде, а в нейтральной среде оно стойкое. Растворимость глинозема и кремнезема показана на (рис. 2) [6].

Рассмотрев графики а и б на рис. 2 четко видно, что при увеличенных рН системы до 10,2 значительно возрастает растворимость глинозема и кремнезема. Поэтому, как химический реагент на процесс активации золы-выноса, предложено использовать многотоннажные отходы — бокситового шлама, которые содержат в себе ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) до 6 %. Проблема утилизации бокситовых шламов может решаться путем их комплексной переработки с последовательным получением целого ряда ценных продуктов — чугуна, глинозема, цемента и щелочи.

Красный шлак характеризуется ценными физико-химическими свойствами, которые дают возможность регулировать свойства бетонов. Характерными особенностями красного шлама как щелочного микронаполнителя есть щелочная реакция (рН до 12) и мелкодисперсное строение — 90 % частичек имеет радиус меньше 10 мкм [7]. Содержимое оксидов в составе красного шлама находится в таких пределах (весов. %): SiO_2 — 9,5...11,1; TiO_2 — 4,4...5,6; Al_2O_3 — 17,0...19,0; Fe_2O_3 — 39,0...43,0; CaO — 7,6...9,5; Na_2O — 6,2...6,9; P_2O_5 — 0,2...0,3; V_2O_5 — 0,2...0,25; п. п. п 7,9...10,5.

Со всей очевидностью численные исследования и производственный опыт свидетельствуют, что лучше использовать естественные добавки и золы, которые не требуют помола, или те, которые легко размалываются и имеют гидравлическую активность.

Результаты исследований

Целью данной работы являются исследования влияния бокситового шлама на химическую активацию золы-выноса, а также на физико-механические свойства композиционных материалов, полученных на основе золоцементного вяжущего.

Для изготовления искусственных композиционных материалов на золоцементном вяжущем в качестве активной добавки в исследованиях использовалась зола-вынос Ладыжинской ТЭС. Ее активация осуществлялась щелочными отходами глиноземного производства, полученными в результате реакции выщелачивания раствором едкого натрия, глинозема из молотых бокситов. Характерной особенностью золы-выноса есть высокое содержание в ее составе активных компонентов глинозема и кремнезема. Для увеличения скорости и степени взаимодействия активных компонентов золы-выноса с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ необходимо механическое или химическое разрушение.

В результате исследований установлен период максимального растворения щелочей красного шлама в воде (рис. 3). На рис. 3 видно, что красный шлак, растворенный в воде уже через 5 мин. достигает максимального значения рН = 11,6. Исследование рН раствора проводили при помощи прибора рН-метр 125.

Для реализации рабочей гипотезы относительно повышения эффективности гидравлического потенциала золы-выноса во время разработки эффективных золоцементных композиционных материалов с использованием идеи раздельного бетонирования нами было принято несколько научных предположений:

1. Гидравлическая активность золы-выноса может быть существенно увеличена за счет разрушения стекловидных покрытий на ее поверхности.
2. Разрушение поверхностных пленок на золе-выносе может быть осуществлено химической активацией щелочными примесями, которые содержатся в бокситовом шламе, и за счет механической активации в бегунах.
3. Физико-механические свойства композиционных материалов, полученных на золоцементном вяжущем увеличатся за счет использования красного шлама как микронаполнителя.

Считаем, что при введении бокситового шлама в цементно-зольную смесь следует ожидать из-

менение фазового состава новообразований, за счет взаимодействия оксидов железа и алюминия с продуктами гидратации клинкерных минералов.

В работе [9] по результатам рентгенофазового анализа и электронной микроскопии установлено, что в переходной зоне «металл-цементное тесто» интенсивно образуется гидроксид кальция.

В цементах, содержащих повышенное количество железа, может образовываться двухкальциевый феррит, который при гидратации дает двухкальциевый гидроферрит $2\text{Ca}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$. Это соединение в растворах $\text{Ca}(\text{OH})_2$ переходит в $3\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$, а по некоторым данным — в $4\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot 13\text{H}_2\text{O}$. Стоит подчеркнуть, что трёх- и четырехкальциевые гидроалюминаты и гидроферриты тех же составов при одновременном образовании дают твёрдые растворы с общими формулами: $3\text{CaO}\cdot(\text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3)\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и $4\text{CaO}\cdot(\text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3)\cdot 13\text{H}_2\text{O}$.

Эффективность активации заполнителей связана с увеличением прочности сцепления цементного камня с заполнителем. Общим есть повышение степени изотропности физико-механических характеристик вяжущего на всех этапах твердения. Эти данные, подтвержденные результатами определения эксплуатационных свойств, из которых водопоглощение является важной характеристикой, которая связана с пористостью бетона, его плотностью, а также с морозо- и коррозионной стойкостью. Водопоглощение бетонов на заполнителях, активированных растворами кислот, солей, щелочей, уменьшается в среднем на 18...21 %. Способы повышения сцепления элементов зоны контакта бетона учитывают геометрию, физическую и химическую природу заполнителя, специфику образования гидратов и минеральной подкладки, особенности формирования структуры бетона на трех иерархических уровнях.

Для детальной проверки рабочей гипотезы относительно повышения эффективности гидравлического потенциала золы-выноса было изготовлено семь серий образцов-балочек размерами $40\times 40\times 160$ мм с разным содержанием красного шлама. Количество портландцемента, В/Т отношение и условия твердения оставляли постоянными. Составы цементно-золевых смесей приведены в табл.

Технология изготовления смеси включает в себя следующие стадии. Смесь, в соответствующем соотношении золы-выноса, красного шлама и портландцемента перемешивали в смесителе на протяжении 5 мин. Потом добавляли воду и формировали образцы-балочки размером $4\times 4\times 16$ см. Отформованные образцы выдерживались 12...16 часов при температуре $20\pm 2^\circ\text{C}$, после чего пропаривались при температуре $80...85^\circ\text{C}$ по режиму «2 + 4 + 2».

Показатели химического разрушения поверхности частичек золы-выноса бокситовым шламом оценивали по консистенции смесей, которая определялась при помощи встряхивающего столика и по максимальному пределу прочности при сжатии половинок балочек. Результаты проведенных исследований отображены на рис. 2.

На рис. 4 прослеживается, что растекание золошламовых смесей с заменой бокситовым шламом до 30 % золы при постоянном В/Т, дает незначительное увеличение растекания смеси от 17,1 см до 18,2 см. Это связано с пластифицирующими свойствами бокситового шлама. Пластичность бокситового шлама приведена в работах Рахимбасва, Бураева, Чагая и др. [10—12]. При замене золы в пределах 45 % бокситовым шламом наблюдается значительное уменьшение растекания смеси. Изменение растекания смеси, активированной щелочным бокситовым шламом, при других равных условиях, подтверждает разрушение стекловидной оболочки золы, проявляющееся в уменьшении текучести суспензии.

Для подтверждения положительных свойств бокситового шлама, как эффективного микронаполнителя, была определена средняя плотность золошламовой смеси. Влияние бокситового шлама на среднюю плотность смеси отображено на (рис. 5).

Проанализировав изменение средней плотности (рис. 5), установили закономерность роста средней плотности на 3 % при замене золы бокситовым шламом на 15 %. Общее увеличение плотности между первой серией и шестой серией образцов составляет 14,7 %. Повышение средней плотности свидетельствует об уменьшении пористости, которая, в свою очередь, уменьшает водопоглощение и увеличивает водостойкость данного золошламового вяжущего при наличии гидратных новообразований. На рис. 6 приведена зависимость коэффициента размягчения от состава золошламового вяжущего. В результате анализа этой зависимости установлено, что содержание бокситового шлама в пределах до 45 % положительно влияет на водостойкость золошламового вяжущего. Повышение водостойкости на 24 %, обусловлено по нашему мнению, увеличением количества гидратных новообразований, за счёт химической активации золы-выноса и за счет введения активной минеральной алюмоферритной добавки.

Для подтверждения положительного влияния бокситового шлама на разрушение стекловидной поверхности и повышения вяжущих свойств золы-выноса установлена зависимость прочности золошламового вяжущего от соотношения золы-выноса и бокситового шлама. Результаты ис-

следований отобразены на (рис. 7)

По результатам исследований (рис. 7) установлено, что рост прочности наблюдается при замене золы бокситовым шламом на промежутке от 15 % до 45 %. В общем прирост прочности составляет приблизительно 58 %, коэффициент размягчения увеличился на 14 %, а водопоглощение уменьшает на 6 % по сравнению с 1 серией образцов. Замена золы бокситовым шламом на 65 % и больше приводит к снижению границы прочности при сжатии. Это объясняется недостаточным количеством золы-выноса и отсутствием гидравлической активности бокситового шлама.

Повторный помол лежалых цементов разрешает увеличить его активность при повышенном содержимом минеральных добавок. Исследования, проведенные Полищуком, Запольским, Куликовой в работах [13—15], показали возможность применения бокситового шлама как добавки к цементному клинкеру перед его помолом. Так, добавка 5 % шлама существенным образом увеличивает измельчение и марочную прочность цемента.

Вследствие проведения обзора литературных источников и предыдущих экспериментальных исследований нами была выдвинутая следующая гипотеза: разрушение поверхностных пленок на золе-выносе может быть осуществлено при совместном помоле в бегунах портландцемента, золы-выноса и бокситового шлама. В этом случае бокситовый шлам выступает в роли абразивного материала по отношению к золе-выносу и портландцементу. Благодаря этому, мы считаем, что повысятся механические свойства композиционного вяжущего, полученного на основе отходов промышленности.

Для проведения исследований использовались составы вяжущего указанные в табл. Результаты зависимости границы прочности от времени механической активации в бегунах приведены на рис. 8.

Таким образом, на основании всего комплекса проведенных экспериментальных исследований подтвердилась рабочая гипотеза. Изучение механизмов контактных взаимодействий в наполненных композиционных материалах путем активации наполнителей свидетельствует об увеличении адгезии к минеральному вяжущему и повышении структурообразующей роли самого наполнителя. В результате разрушения стекловидных пленок на поверхности золы-выноса обеспечиваются лучшие условия выщелачивания гидрата глинозема и создание высоко- и низкоосновных гидросиликатов кальция и гидрогранатов, обеспечивающих увеличение прочности материала.

Activation Methods Analysis and Raw Materials Characteristics

Problems of rational and efficient usage of concrete have always been of prime importance. As far back as in 30-s it was proved that in case of 30 % sand substitution and further grinding in mills due to additional grinding of clinker component (activation) the limiting strength of the cement is increased.

Among the known methods aimed at the improvement of aggregate activity it is possible to point out the aggregate washing and their mechanical processing, rational concrete components choice, and special mixing and compaction of concrete mixture, use of reactive aggregates, the choice of proper clinker, aggregate processing with glue or porous aggregate saturation with further powdering by disperse mineral substances; pretreatment of aggregates with surface active substances [1, 2]. The increase of concrete structure cohesion is achieved by cement stone compaction with special admixtures introduced with water in the process of mixing; introduction of admixtures directly into the contact zone by means of porous aggregates presaturation with special substances; aggregate treatment with different acids and diluted electrolytes.

The most promising for using in building materials manufacture from the point of view of mineralogical and chemical composition are the waste of heat power industry, presented by fly-ash of power plants, and the waste of alumina production, presented by red bauxite slag of Mykolayiv alumina plant.

Fly-ash is used in the production of cement, porous concretes, porous aggregates, building ceramics and other materials. The use of ash as active mineral admixture is based on its ability to interact with $\text{Ca}(\text{OH})_2$ and to form waterproof hydro silicates and calcium hydro aluminates. On the other hand the presence of glass-like fly-ash particles on the surface improves plasticity of the mixtures, and ash particles act as micro disperse spheres, which improve the microstructure (Fig. 1) of composite materials.

Hydraulic activity of different metallurgical slags, fly-ash depends on their chemical structure and dispersivity. The results of microscope research (Fig. 1) show that the microstructure of low calcium fly-ash (70—80 %) — glass-like aluminum silicate phase in the form of ball like particles sized to 100 μm [9]. The chemical structure of fly-ash within SiO_2 — 55.3; TiO_2 — 1.4; Al_2O_3 — 22.34; Fe_2O_3 — 5.42; FeO — 2.52; MgO — 0.12; MnO — 5.96; CaO — 5.96;

Na_2O — 0.75; K_2O — 2.46; SO_3 — 0.38; P_2O_5 — 0.33.

Reaction ability of fly-ash is provided by alkaline solution and is dependent on ion power of aluminum silicate component, and the character of alkaline component [3, 4].

Glass in fly-ash can be considered as the material containing amorphous matter- substance being close by composition and structure to corresponding crystal phases, but having high specific surface, and chaotic alumina layers among them. The ability of glass-like phase to hydration and hydrolysis can be explained by its porous microstructure and comparatively high amorphous matter permeability, due to the presence of cavities between ion groups. The activity of intermediate matter of glass-like phase is determined by the correlation between alumina and silica, the high it is the faster ash glass hydration process takes place in alkali and sulphur alkali environment, in neutral environment it is stable. The solubility of alumina and silica is shown in Fig. 2 [6].

Having analyzed graphs a and b in Fig. 2 it is obvious that increasing of system pH to 10,2 leads to solubility of alumina and silica increases. That is why as the chemical agent in the fly-ash activation process we propose to use multi tonnage waste- bauxite slag containing ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) to 6%. The problem of bauxite slag utilization can be solved by means of their complex recycling with further obtaining a number of valuable products- cast- iron, silica, cement and alkaline.

Red slag is characterized by valuable physical and chemical properties, which allow to control the properties of concrete. The characteristic feature of red slag, being alkali micro aggregate is alkali reaction (pH to 12) and micro dispersive structure — 90 % of particles have the radius less than 10 μm [7]. The oxide content in red slag is within the following limits (%): SiO_2 — 9.5...11.1; TiO_2 — 4.4...5.6; Al_2O_3 — 17.0...19.0; Fe_2O_3 — 39.0...43.0; CaO — 7.6...9.5; Na_2O — 6.2...6.9; P_2O_5 — 0.2...0.3; V_2O_5 — 0.2 — 0.25; п. п. п 7.9...10.5.

Numerous research and industrial experience prove that it is better to use natural admixtures and ashes which do not need grinding or those which are easily ground and have hydraulic activity.

Research Results

The aim of the given paper is the study of bauxite slag influence on fly- ash chemical activation and on physical- mechanical properties of composite materials obtained on the basis of ash-cement binder.

For fabrication of artificial composite materials on the basis of ash- cement binder fly-ash from Ladyzhyn power plant was used as active admixture in the research work. The activation was performed by the waste of alkali production, obtained in the reaction of caustic soda alkalization, alumina from ground bauxites. A characteristic feature of fly-ash is high content of alumina and silica active components. For intensifying the speed and interaction of fly-ash components with $\text{Ca}(\text{OH})_2$ it is necessary to provide mechanical or chemical destruction or, at least, damaging the glass-like shell of ash particles.

As a result of the research carried out the period of maximum red slag alkali dissolution in water was determined (Fig. 3). Fig. 3 shows that red slag dissolved in water in 5 minutes already reaches the maximum level of pH = 11,6. The research of pH solution was performed with the help of the device pH-meter 125.

For the realization of the work hypothesis regarding the efficiency increase of fly ash hydraulic potential during development of effective ash-cement composite materials applying the ideas of separate concrete laying, we assumed several scientific conditions:

Hydraulic activity of fly-ash can be substantially raised due to destruction of glass-like covering on its surface.

Destruction of the surface films on fly-ash can be performed by chemical activation applying alkali admixtures, found in bauxite slag, and due to mechanical activation in runners.

Physical- mechanical properties of composite materials obtained on ash- cement binder are being improved due to using of red slag as a micro aggregate.

We consider that by bauxite slag introduction into cement-ash mixture the change of new matter phase composition due to interaction of iron oxides and aluminum with the products of clinker minerals hydration should be expected.

In the paper [9] by the results of X-ray analysis and electronic microscopy it has been estimated that in the transition zone metal- cement mixture calcium hydro-oxide is being intensively formed.

In cement containing higher rate of iron double calcium ferrite can be formed, which during hydration gives double-calcium hydro-ferrite $2\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$. This compound in solutions $\text{Ca}(\text{OH})_2$ is transferred into $3\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$, and according to certain data — to $4\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot 13\text{H}_2\text{O}$. It should be emphasized that three and four calcium hydro-aluminates and

hydro-ferrites of the same composition with simultaneous formation give the solid solutions with common formula $3\text{CaO} \cdot (\text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ і $4\text{CaO} \cdot (\text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3) \cdot 13\text{H}_2\text{O}$.

The activation effectiveness of aggregates is connected with the increase of cohesion strength of cement stone and the aggregate. The common point is the increase of isotropy level of physical-mechanical characteristics of the binder on all stages of hardening. The data are proved by the results of service properties study, among which water absorption is an important characteristic, being connected with concrete porosity, density, frost- and corrosion resistance. Water absorption of concrete on aggregates, activated by acid solutions, alkaline is reduced on average by 18—21 %. The means of raising element binding in the contact zone take into consideration the geometry, physical and chemical nature of the aggregate, the peculiarities of hydrate formation and mineral sub-layer, the peculiarities of concrete structure formation on three hierarchy levels.

For detailed proving of the working hypothesis regarding the effectiveness increase of fly-ash hydraulic potential seven series of samples of beams sized $40 \times 40 \times 160$ mm were made with different red slag content. The quantity of Portland cement, W/S correlation and hardening conditions remained constant. The compositions of mixtures formed are presented in the Table.

The mixture preparation technology includes the following stages. The mixture with corresponding fly-ash, red slag, and Portland cement content was mixed during 5 min. Then water was added and the beams sized « $4 \times 4 \times 16$ cm were formed. The obtained samples were cured for 12...16 hours within the temperature range $20 \pm 2^\circ\text{C}$, then they were steamed at the temperature $80...85^\circ\text{C}$ applying «2 + 4 + 2» mode.

The indices of chemical destruction of fly-ash surface particles by bauxite slag were estimated by the mixture consistency, which was determined with the help of jolting-table and the maximum strength limit by compression the halves of the beam. The results of the research are shown in Fig. 2.

Fig. 4 shows that ash-slag spreading with bauxite slag substitution to 30 % of ash at constant W/T gives a slight increase of mixture spreading from 17,1 cm to 18,2 cm. It is connected with bauxite slag plasticization properties. Bauxite ductility is presented in the works of M. Rakhimbayev, M. I. Burayev, V. P. Chgay and others [10—12]. While substituting ash in the range of 45 % by bauxite slag considerable reduction of mixture spreading is observed. The change of mixture spreading, activated by alkali bauxite slag if other conditions are equal proves the destruction of the glass-like ash shell which results in reduction of suspension spreading.

To prove the positive properties of bauxite slag, as an effective micro aggregate the average ash-slag density was estimated. The influence of bauxite slag on average density of the mixture is shown in Fig. 5

Having analyzed the average density change (Fig. 5) we established the correspondence of average density increase by 2,8 % in case of ash substitution by bauxite slag at 15 %. The general density increase between the first 1 series and 6 series of samples is 14,7 %. The average density increase shows the porosity reduction that in its turn leads to water absorption reduction and waterproof increase of the given ash-slag binder in the presence of new hydrate matters. Fig. 6 shows the dependence of the softening coefficient on ash-slag binder composition. It has been estimated that the bauxite slag content in the range of 45 % has positive influence on ash-slag binder water resistance. The water resistance increase by 24 % is caused in our opinion by the increase of hydrate matter volume due to chemical activation of fly-ash and the introduction of active mineral alumina-ferrite admixture.

To prove the positive influence of bauxite slag on destruction of glass-like surface and binding properties increase of fly-ash we established the dependence of ash-slag binder strength on the correlation between fly-ash and bauxite slag. The results of research are shown in Fig. 7.

According to the research results (Fig. 7) it was estimated that the strength increase was observed in case of substitution of ash by bauxite slag in the range from 15 % to 45 %. In general increase of strength constitutes about 58 %, the softening coefficient was improved by 14 %, and water absorption was reduced by 6 % as compared with the 1-st series of samples. The substitution of ash by bauxite slag by 65 % and more leads to the strength border decrease while compression. It is explained by insufficient fly-ash content and lack of hydraulic activity in bauxite slag.

The re-grinding of stale cement allows to increase its activity in case of increased mineral admixtures content. The research carried out by Polycshuk, Zapolskiy, Kulykovoyu in [13—15] showed the possibility of using bauxite slag as an admixture while cement clinker grinding. Thus, adding 5 % of slag sufficiently increases grinding and brand strength of cement.

Having reviewed publications on the given problem and results of previous experimental re-

search we suggested the following hypothesis: the destruction of surface films on fly-ash can be performed with simultaneous grinding in runners of Portland cement, fly-ash and bauxite slag. In this case bauxite slag acts as the abrasive material relatively fly-ash and Portland cement. Due to this we consider that the mechanical properties of composite binder, obtained on the basis of industrial waste will be improved.

To carry out such research the following binder compositions were used (see Table). The results of the dependence of the strength limit on time of mechanical activation in runners are given in Fig. 8.

Thus, on the basis of the whole complex of research and experimental activity the working hypothesis has been proved. The study of contact interaction mechanisms in the filled composite materials by means of aggregate activation proves the increase of adhesion to mineral binder and increase structure forming role of the aggregate itself. As a result of destruction of glass-like films on the surface of fly-ash, better conditions for alkalization of alumina hydrate and creation of high- and low-based calcium hydro-silicates and hydro-grants, that improve material strength are provided.

Висновки

1. Проведені дослідження свідчать про ефективність механо-хімічної активації золи-виносу і використання основних елементів роздільного бетонування в процесі виготовлення дрібноштучних стінових матеріалів.

2. Інтенсифікація взаємодії лугу і золи-виносу забезпечується наявністю рідинної фази та механічним перемішуванням, в процесі якого важливу роль також відіграє тривалість технологічних етапів виготовлення в'язучого.

3. Впровадження роздільної поетапної технології виробництва золоцементних матеріалів з попередньою активацією золи-виносу та подальшим введенням добавки цементу (в кількості 10 % від маси суміші) забезпечує отримання композиційного матеріалу з такими властивостями: границя міцності при стисканні $R_{ct} > 92 \text{ кгс/см}^2$, коефіцієнт розм'якшення 0,87, щільність в межах $1980 \dots 2080 \text{ кг/м}^3$, водопоглинання 19 %.

4. Золо-цементні композиційні матеріали придатні для використання в малоповерховому будівництві а також у зведенні самонесучих захисних конструкцій. Вони на 90...95 % складаються з відходів виробництва та мають низьку вартість. При цьому використання запропонованої технології вирішує також екологічні проблеми.

Выводы

1. Проведенные исследования свидетельствуют об эффективности механохимической активации золы-выноса и использования основных элементов раздельного бетонирования в процессе изготовления мало-клинкерных стеновых материалов.

2. Интенсификация взаимодействия щелочи и золы-вынос обеспечивается наличием жидкой фазы и механического перемешивания, в процессе которого важную роль также играет продолжительность технологических этапов изготовления вяжущего.

3. Внедрение раздельной поэтапной технологии производства золоцементных материалов с предыдущей активацией золы-выноса и дальнейшим введением добавки цемента (в количестве 10 % от массы смеси) обеспечивает получение композиционного материала с такими свойствами: предел прочности при сжатии $R_{ct} > 92 \text{ кгс/см}^2$, коэффициент размягчения 0,87, плотность в пределах $1980 \dots 2080 \text{ кг/м}^3$, водопоглощение 19 %.

4. Золоцементные композиционные материалы пригодны для использования в малоэтажном строительстве а также при возведении самонесущих ограждающих конструкций. Они на 90...95 % состоят из отходов производства и имеют низкую стоимость. При этом использование предложенной технологии решает также экологические проблемы.

Conclusions

1. The research carried out prove the efficiency of mechanical-chemical activation of fly ash and using basic elements of separate concrete setting in the process of small-clinker wall materials.

2. The intensification of alkali interaction with fly-ash is provided by the presence of liquid phase and mechanical mixing, in the process of which an important role is played by the duration of technological stages of binder fabrication.

3. The introduction of separate staged technology of ash-cement materials fabrication with preliminary fly-ash activation and further usage of cement admixture — 10 % of the total mix-

ture mass, provides obtaining of the new composite material with the following characteristics: $R_{ct} > 92 \text{ kgf/cm}^2$, the softening coefficient 0.87, density within the range of 1980...2080 kg/m^3 , water absorption 19 %.

4. Ash-cement composite materials are suitable in low-storied construction and self-bearing protection constructions. They consist of industrial waste by 90...95 % and they are cost efficient. Using the proposed technology also helps to solve ecological problems.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1. Барабаш И. В. Механохимическая активация в технологии приготовления бетонных смесей // Вісник ОДАБА. — 2004. — Вип. 13. — С. 16—23.
2. Кривенко П. В., Пушкарьова К. К., Кочевих М. О. Заповнювачі для бетону. — К.: ФАДА, ЛТД, 2001. — 399 с.
3. Кривенко П. В., Рябова А. Г. Шлакощелочные вяжущие на основе зол и шлаков ТЭС // Тр. 3-й Всесоюзн. конф. «Шлакощелочные цементы, бетоны и конструкции». — К., 1989. — С. 36—38.
4. Дворкин Л. И., Мироненко А. В., Погореляк А. А., Известняково-зольные бетоны с ускорителями твердения // Строит. материалы и конструкции. — № 2. — С. 20—21.
5. Попов С. В. Дрібнозернисті щільні бетоны зі спеціальними властивостями на заповнювачах із кам'яновугільних і антрацитових золошлакових матеріалів ТЕС Донбасу: Автореф. дис... канд. техн. наук: — Макіївка, 2003. — 20 с.
6. Канатько В. М. Укрепление дисперсных грунтов путём синтеза неорганических вяжущих. — Л.: Издательство ленинградского университета, 1989. — 272 с.
7. Очеретный В. П., Ковальський В. П. Определение факторного пространства для построения математической модели карбонатного пресс-бетона // Тр. Международного семинара по моделированию и оптимизации композитов. — Одесса, «Астропринт». — 2004. — С. 149.
8. Сердюк В. Р., Борецький О. Й., Амер Номан, Хімічна активація золи-виноса для цементно-зольних композицій // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 1997. — № 1. — С. 23—29.
9. Adhesion between concrete and treated or untreated flat metal surfaces / Montgomery, D. C., Samarin A. // Bond. Cementations Compos.: Symp., Mass., Des. 2—4, 1987. — Pittsburgh (Pa). — P. 263—270.
10. Рахимбаев Ш. М., Лелебина О. Ф. Бесклинкерное вяжущее на основе промышленных отходов // Совершенствование технологии вяжущих, бетонов и железобетонных конструкций: Межвуз. сб. науч. тр. / Пермский политехн. ин-т. — Пермь, 1989. — С. 32—35.
11. Пашенко А. А. Энергосберегающие технологии получения вяжущих веществ. — К.: Вища школа, 1991. — 223 с.
12. Бураев М. И., Чагай В. П., Кошелев В. А. Влияние бокситовых шламов на прочность и долговечность бетонов, эксплуатируемых в алюминиевой промышленности // Комплексное использование минерального сырья, 1983. — № 10. — С. 66—69.
13. Полищук Э. Р., Иогансон А. К., Гольдштейн Л. Я. Об исследовании отвальных техногенных продуктов при производстве цемента // Тр. ВНИИ цемент. промышл., 1986. — № 67. — С. 62—70.
14. Запольский А. К., Пасечник Г. А., Коновалова Л. В. Шламовые отходы в производстве цемента // Строительные материалы и конструкции, 1986. — № 1. — С. 19.
15. Куликова Г. Ф., Базалевский В. Р., Бровцына О. А. Отходы цветной металлургии для получения высокоглиноземистых цементов // Цемент. — 1991. — № 7. — С. 69—70.

Рекомендована кафедрою містобудування та архітектури

Надійшла до редакції 20.06.06
Рекомендована до друку 30.06.06

Очеретный Владимир Петрович — доцент; **Ковальський Віктор Павлович** — асистент.

Кафедра містобудування та архітектури;

Машиницький Микола Петрович — студент Інституту будівництва та теплогазопостачання.

Вінницький національний технічний університет

Очеретный Владимир Петрович — доцент; **Ковальський Віктор Павлович** — асистент.

Кафедра градостроительства и архитектуры;

Машиницький Николай Петрович — студент Інститута строительства и теплогазоснабжения.

Винницкий национальный технический университет

Volodymyr Ocheretnyy — Assistant Professor; **Victor Kovalskyy** — Assistant.

Chair of Planning of City and Architecture;

Mykola Mashnytskyy — Student of the Institute of Civil Engineering, Heat and Gas supply.

Vinnitsia National Technical University.