



ЕЛЕКТРОФІЗИЧНЕ ПОВЕРХНЕВЕ МОДИФІКУВАННЯ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТУ ДИСПЕРСНИМИ МІНЕРАЛЬНИМИ ДОБАВКАМИ

В. І. Братчун, М. М. Зайченко, О. К. Халюшев, О. В. Сахошко

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,
вул. Державіна, 2, м. Макіївка, Донецька область, Україна, 86123*

Отримана 4 березня 2006; прийнята 19 травня 2006.

Анотація. Наявність електричного заряду на поверхні цементу і мінеральних добавок призводить до їх електростатичної взаємодії, характер і величина якої залежать від інтегральних зарядів поверхонь. Останні можна регулювати шляхом високовольтної електростатичної поляризації в полі коронного розряду. Аутогезійна взаємодія між протилежно зарядженими частинками цементу і мінеральних добавок призводить до утворення укрупнених агрегатів зі зниженням питомої поверхні, що відображається на реологічних властивостях цементних паст, процесі формування складу продуктів гідратації портландцементу та показниках міцності каменя в'язучого.

Ключові слова: портландцемент, мінеральні добавки, сфероїдальні частинки, високовольтна поляризація, активні поверхневі центри, аутогезія, продукти гідратації.

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКАЯ ПОВЕРХНОСТНАЯ МОДИФИКАЦИЯ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА ДИСПЕРСНЫМИ МИНЕРАЛЬНЫМИ ДОБАВКАМИ

В. И. Братчун, Н. М. Зайченко, А. К. Халюшев, Е. В. Сахошко

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
ул. Державина, 2, г. Макеевка, Донецкая область, Украина, 86123*

Получена 4 марта 2006; принята 19 мая 2006.

Аннотация. Наличие электрического заряда на поверхности цемента и минеральных добавок приводит к их электростатическому взаимодействию, характер и величина которого зависят от интегральных зарядов поверхностей. Последние можно регулировать путем высоковольтной электростатической поляризации в поле коронного разряда. Аутогезионное взаимодействие между противоположно заряженными частицами цемента и минеральных добавок приводит к образованию укрупненных агрегатов со снижением удельной поверхности, что отображается на реологических свойствах цементных паст, процессе формирования состава продуктов гидратации портландцемента и показателях прочности камня вяжущего.

Ключевые слова: портландцемент, минеральные добавки, сфероидальные частицы, высоковольтная поляризация, активные поверхностные центры, аутогезия, продукты гидратации.

ELECTROPHYSICAL SURFACE MODIFICATION OF PORTLAND CEMENT BY DISPERSION MINERAL ADDITIVES

V. Bratchun, N. Zaychenko, O. Khalyushev, O. Sakhoshko

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
Derzhavin Street, 2, Makiyivka, Donetsk region, Ukraine, 86123

Received March 4, 2006; accepted May 19, 2006.

Abstract. The presence of the electric charge on the surface of cement and mineral additives affects on their electrostatic interaction. Its character and value depend on the integral charges of surfaces. It can be possible to regulate the integral charges of surfaces by high-voltage electrostatic polarization in the corona field. Adhesive interaction between the oppositely charged particles of cement and mineral additives results in formation of the combined aggregates with decline of specific surface. It is affected on rheologic properties of cement pastes, process of structure formation and composition of hydrate products of Portland cement as well as on the indexes of cement paste durability.

Key words: portland cement, mineral additives, spherical particles, high-voltage polarization, active surface centers, adhesion, hydrate products.

Вступ. Аналіз стану й обґрунтування актуальності проблеми, постановка задачі. У найближчі десятиліття бетони на основі клінкерних в'язучих зберуть своє пріоритетне значення. В той же час значної уваги буде надано багатокомпонентним цементам, що містять мінеральні добавки різного речовинного складу. Це пов'язано зі зниженням енерговитрат при їх виробництві та можливістю утилізації великотоннажних відходів різних виробництв [1, 2]. Така проблема наразі набуває все більшої актуальності для України як в економічному, так і в екологічному аспектах. Європейським стандартом EN 197-1 (1996) регламентовано виробництво портландцементу II типу, що містить у своєму складі від 6 до 35 % природних пуцоланів, золи-винесення, шлаку або вапняку [2]. У композиційному цементі вміст суміші різних добавок може складати від 36 до 80 %. Цьому стандарту відповідає й український нормативний документ – ДСТУ Б В.2.7-46-96 “Цементи загальнобудівельного призначення”.

Виробництво таких цементів може бути здійснене із застосуванням останніх досягнень в галузі хімії в'язучих і технології бетонів (механохімічна активація, застосування комплексних модифікаторів тощо) [1].

Японськими вченими [3-5] розроблено спосіб поверхневої модифікації високодисперс-

них мінеральних компонентів бетону, який полягає у високошвидкісному перемішуванні матеріалів з різною дисперсністю і поверхневим зарядом (*dry-impact blending method*). Кулонівські сили притягання, що виникають між позитивно зарядженими частинками цементу і негативно зарядженими частинками гіпсу (мінеральних добавок) забезпечують достатньо міцну взаємну фіксацію і укрупнення одержаних “сфероїдів” (рис. 1) [3]. Така обробка підвищує рухливість як цементних дисперсій, так і бетонних сумішей на їх основі [4, 5]. В результаті зниження водоцементного співвідношення (при забезпеченні необхідної легкоукладності суміші) досягається підвищення міцності і довговічності бетону. Механізм підвищення рухливості цементних паст на основі “сфероїдального” цементу згідно [4] полягає у наступному: 1) – зниження сил тертя внаслідок надання частинкам форми, близької до округлої; 2) – оптимізація гранулометричного складу (зменшення кількості частинок, що мають розмір менше 3 мкм); 3) – зниження на 40% величини адсорбції суперпластифікаторів поверхнею модифікованого цементу; 4) – зниження на 25% тепловиділення цементу на початкових стадіях гідратації.

Виходячи з того, що у розглянутому способі отримання “сфероїдального” цементу [3] аутогезія частинок обумовлена в основному

силами притягання електричної природи, що виникають внаслідок трибоелектричного ефекту, процес поверхневого модифікування портландцементу мінеральними добавками можливо реалізувати й іншим способом, зокрема, шляхом обробки дисперсних порошків у високовольтному електростатичному полі. При цьому протилежні електричні заряди між частинками цементу та мінеральних добавок в структуроутворюючій дисперсній системі визначають виникнення в них гетерогенних контактів, що обумовлюють формування щільної й міцної структури цементного каменя [6, 7].

У порівнянні з відомим способом електростатичної поляризації дисперсних компонентів бетону [7] більш значний ефект при електрообробці порошків може бути досягнутий у неоднорідному електричному полі. Так, згідно [8] електричне поле коронного розряду, що створюється в різних за конструктивним виконанням електрофільтрах, є найефективнішим способом генерації електричних зарядів необхідної полярності.

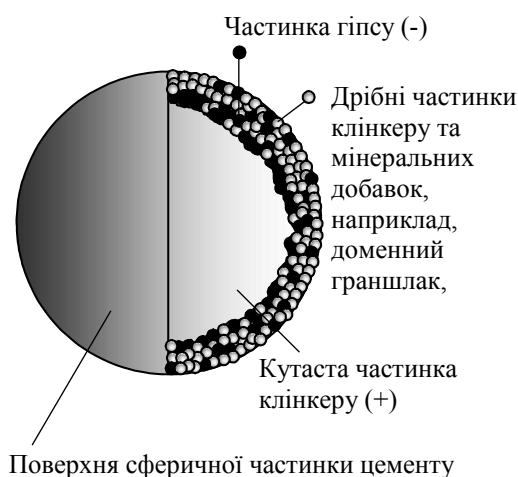


Рис. 1. Схема модифікованої "сфероїдальної" частинки портландцементу [3].

Слід також відзначити, що обробка дисперсних порошків в полі коронного розряду обумовить виникнення в них електретного стану. За визначенням [9] електретний стан характеризується наявністю в діелектрику внутрішньої електричної поляризації, що створюється зовнішнім електричним полем і довго збе-

рігається після його виключення. Беручи до уваги той факт, що мінеральні компоненти бетону є типовими ізоляторами з дуже високим перехідним опором (кальцит – 10^{12} ; кварц – 10^{13} ; зола – 10^{22} Ом [8]), можна передбачати утворення в полі коронного розряду короноелектретів з тривалим періодом релаксації електричного заряду.

Під впливом високовольтної поляризації збуджуються активні центри поверхні дисперсних часток, що позначається на процесах гідратації та структуроутворення цементних дисперсій [10]. Так, згідно [11] активні центри поверхні дисперсних наповнювачів впливають на процеси, що відбуваються при твердненні цементних суспензій, з перших секунд взаємодії цементу з водою.

Метою роботи є встановлення закономірностей впливу високовольтної електростатичної поляризації в полі коронного розряду на поверхнєві властивості дисперсних компонентів бетону, їх аутогезію і, як результат, на властивості цементних паст та цементного каменя.

Основна частина.

1. Характеристика вихідних матеріалів та методів дослідження. Як об'єкти досліджень прийнято:

- портландцемент ПЦ-I-500 Криворізького цементного комбінату;
- золу-винесення Курахівської ДРЕС;
- вапняк доломітизований Комсомольського рудоуправління.

Перед початком проведення експериментів проби цементу та мінеральних добавок висушували при температурі $105-110^{\circ}\text{C}$ до постійної маси, після чого від мінеральних добавок відокремлювали частинки, що не пройшли через сито № 008.

Диференційну оцінку кислотно-лужних властивостей поверхні твердої фази мікронаповнювачів виконували спектрофотометричним методом (спектрофотометр СФ -26) по адсорбції барвників різного типу (індикатори Гамета) з водних розчинів [12]. Значення pK_a кислотно-лужних індикаторів та їх оптимальні спектри поглинання, що відповідають довжині хвилі, в якій поглинання світла є максимальним — λ_{max} , представлені в табл. 1.

Кількість адсорбованого індикатора розраховували за формулою (1) [13]:

$$q = \frac{C_{\text{інд}} \cdot V_{\text{інд}}}{D_0} \left(\frac{D_0 - D_1}{m_1} \pm \frac{D_0 - D_2}{m_2} \right) \quad (1),$$

де:

$C_{\text{інд}}$ та $V_{\text{інд}}$ – відповідно концентрація, мг-моль/мл, та об'єм розчину, мл, індикатора;
 m_1 і m_2 – маса проби дисперсного матеріалу, мг;

D_1 і D_2 – оптична щільність індикатора до та після сорбції, відповідно;

D_0 – оптична щільність розчину холостого;

знак “–” відповідає односпрямованій зміні D_1 і D_2 відносно D_0 : D_1 і $D_2 < D_0$ або D_1 і $D_2 > D_0$;
 “+” — $D_1 > D_0 > D_2$ або $D_1 < D_0 < D_2$.

Таблиця 1. Характеристики кислотно-лужних індикаторів [12]

Назва	Індекс	pK_a	λ_{max} , нм
2,4-Дінітроанілін	ДНА	–4,4	340
Фуксин	Ф-Н	+2,1	540
Бромтімоловий синій	БТС	+7,3	430
Тімоловий синій	ТС	+8,8	430
Індигокармін	ІК	+12,9	610

Питому поверхню мінеральних дисперсій визначали методом повітропроникності за допомогою приладу Т-3.

Реологічні властивості цементних паст визначали за допомогою пластометра МДУ та лабораторного струшуючого столику (ГОСТ 310.4).

Ступінь гідратації цементу і склад новоутворень оцінювали за допомогою дериватографічного аналізу в діапазоні температур 20..950 °С при швидкості підвищення температури 10 °С/хв. (дериватограф Q-1500, чутливість вагової установки $\gamma=0,926$ мг/мм), а також рентгенофазового аналізу, виконаного на установці “Дрон-3” (напруга 40 кВ; струм анода 30 μ А, швидкість зйомки 1°/хв., катод Cu_α (Ni)).

Електростатичну поляризацію дисперсних компонентів бетону здійснювали в установці,

що працює за принципом вертикальних трубчастих електрофільтрів (рис. 2). Напруженість поля, при якій з'являється коронний розряд, багато в чому залежить від радіусу кривизни електроду, що коронує. За інших рівних умов корона утворюється раніше біля електроду з великим радіусом кривизни [8]. У розробленій установці для активації дисперсних наповнювачів бетону електрод, що коронує, виконано зі сталевого дроту діаметром 2 мм. Обробку дисперсій проводили при таких параметрах: напруженість поля $E=15-10$ кВ/см, сила струму $I=40-60$ μ А.

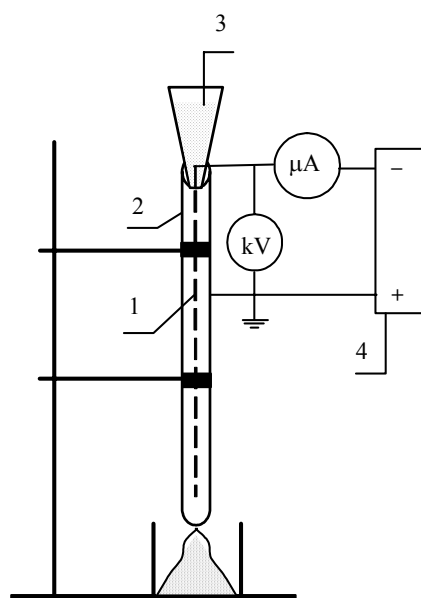


Рис. 2. Схема пристрою для електроактивації дисперсних компонентів бетону в коронному розряді: 1 – електрод, що коронує; 2 – осаджуючий електрод; 3 – завантажувальна воронка; 4 – джерело високої напруги.

Перемішування вихідних дисперсних матеріалів “зола-винесення–портландцемент” та “вапняк–портландцемент” у співвідношенні 1:4 за масою здійснювали за трьома схемами: 1 – ручне перемішування в сферичній чаші; 2 – перемішування за допомогою високошвидкісного міксеру; 3 – обробка окремих складових мінеральних дисперсій у висковольтному електричному полі коронного розряду з подальшим перемішуванням за схемою:

-“зола-винесення (негативний знак електроду, що коронує “-”) – портландцемент (позитивний “+”)”;

-“вапняк (“+”) – портландцемент (“-”)”.

2. Результати експериментів й обговорення.

2.1. Питома поверхня модифікованого цементу, реологічні властивості цементних паст. Дані табл. 2 свідчать про те, що при однаковому масовому співвідношенні між вихідними дисперсними матеріалами їх суміші, одержані різними способами, характеризуються неоднаковими показниками питомої поверхні і насипної щільності. Так, для суміші портландцементу з золою-винесення, що одержана звичайним перемішуванням, питома поверхня склала 344 м²/кг. При інтенсивному перемішуванні цих порошків за допомогою високошвидкісного міксеру питома поверхня дисперсії знизилася на 4,5%. У разі, коли вихідні порошки були попередньо біполярно заряджені в полі коронного розряду, зниження питомої поверхні у порівнянні з контрольною сумішшю склало 9%.

Для суміші портландцементу з меленим вапняком ці показники становили відповідно 5,5 і 11%. Більш високі показники зменшення величини питомої поверхні для суміші “портландцемент–вапняк” обумовлені тим, що дисперсність вихідного меленого вапняку в порівнянні з золою-винесення значно більша.

Під дією кулонівських сил притягання між різнойменно зарядженими частинками це-

менту і меленого вапняку утворилися укрупнені агрегати з великою кількістю частинок різної дисперсності.

В той же час у суміші портландцементу з більш крупними у порівнянні з вапняком частинками золи утворення укрупнених “сфероїдів” буде утруднене. Ймовірно, в цьому випадку має місце формування орієнтованих ланцюжків, що складаються з великого числа частинок внаслідок дії сил, обумовлених поляризацією заряду частинок [14].

Зниження величини насипної щільності для електромодифікованих дисперсій обумовлене звуженням інтервалу розподілу частинок за розмірами і, як наслідок, підвищенням міжзернової порожнистості суміші.

Цементні пасти, що приготовлені на модифікованому портландцементі, характеризуються більш високою легкоукладністю, визначеною за показниками діаметру розтікання пасти на струшуючому столику та пластичної міцності.

Таким чином, відмічені вище ефекти є наслідком зміни балансу сил аутогезійної взаємодії між частинками в результаті модифікації їх електроповерхневих властивостей.

2.2. Активні центри поверхні мінеральних добавок. Дослідження мінеральних добавок, оброблених у високовольтному електричному полі коронного розряду при різній полярності електроду, що коронує, дозволили відзначити істотні відмінності в розподілі на їх поверхні кислотно-лужних центрів.

Таблиця 2. Властивості дисперсних матеріалів та цементних паст

Назва матеріалу	Властивості				
	Питома поверхня, м ² /кг	Насипна щільність, кг/м ³	Діаметр розтікання цементної пасти, мм		Пластична міцність, МПа
Портландцемент (ПЦ)	359,5	—	—		—
Зола – винесення (ЗВ)	202,6	—	—		—
Суміш "ПЦ – ЗВ"-1	344,7	1250	210	В/Т= =0,27	0,031
Суміш "ПЦ – ЗВ"-2	329,8	1242	220		0,027
Суміш "ПЦ – ЗВ"-3	312,0	1234	227		0,022
Вапняк (В)	436,5	—	—		—
Суміш "ПЦ – В"-1	391,9	1146	175	В/Т= =0,31	0,046
Суміш "ПЦ – В"-2	380,1	1128	181		0,039
Суміш "ПЦ – В"-3	359,5	1086	192		0,029

Аналіз даних, представлених на рис. 3, показав, що для вихідної золи-винесення переважаючими є кислі ($pK_a = -4,4$), помірнокислі ($pK_a = +2,1$) і лужні ($pK_a = +8,8$ і $+12,9$) центри адсорбції.

Обробка золи в коронному розряді при подачі на електрод, що коронує, негативного потенціалу значно підвищує кількість кислих і слабокислих центрів. В той же час кількість центрів з $pK_a = +8,8$ знижується. При позитивному знаку електроду, що коронує, кількість активних центрів усіх груп знижується, особливо кислих, помірно- й слабокислих.

Для вихідного вапняку, який має позитивний заряд поверхні [3, 6], переважаючими є помірно- ($pK_a = +2,1$) та слабокислі центри ($pK_a = +7,3$). У полі негативної полярності активуються в основному лишекислі ($pK_a = -4,4$) і слабокислі ($pK_a = +7,3$) центри, тоді як позитивне поле позначається на підвищенні концентрації кислих ($pK_a = -4,4$) і лужних ($pK_a = +12,9$) поверхневих груп.

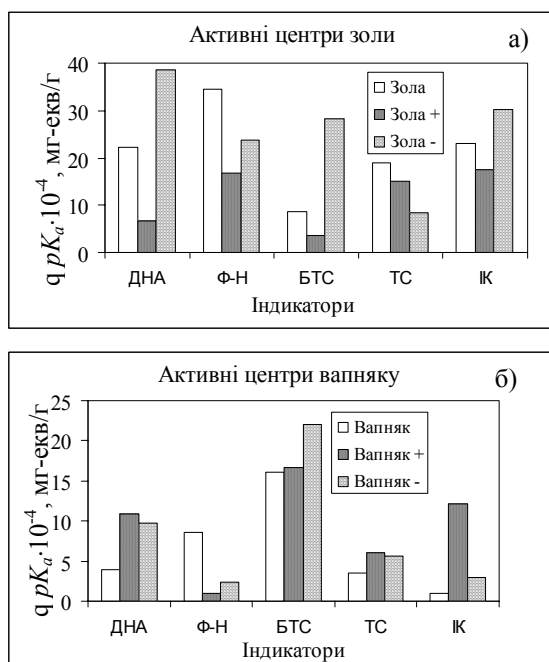


Рис. 3. Розподіл кислотно-лужних центрів на поверхні золи-винесення (а) та вапняку (б), оброблених в високовольному полі коронного розряду.

Таким чином, встановлено, що в результаті високовольної електростатичної обробки дисперсних компонентів змінюються їх елект-

роповерхневі властивості. При цьому істотні зміни в характері розподілу й концентрації активних центрів поверхні спостерігається у випадку, коли полярність електроду, що коронує, співпадає з інтегральним поверхневим зарядом оброблюваної речовини. Ці дані узгоджуються з результатами, одержаними при обробці матеріалів і в однорідному високовольному полі [7].

Взаємодія між частинками з різними електроповерхневими властивостями в цементній системі, що твердне, багато в чому обумовлюватиме механізм процесів структуроутворення, об'ємних змін і формуванні міцності [6].

2.3. Міцність цементного каменю, склад продуктів гідратації. Після визначення показників легкоукладності з цементних паст були відформовані зразки-куби з розміром ребра 0,04 м, що тверднули за нормальних умов протягом 28 діб. Показники міцності на стиск зразків цементного каменя приведено в табл. 3.

Таблиця 3. Склад цементних паст та міцність цементного каменя

Склад пасти	В/Т	σ_{28} , МПа
1. Суміш "ПЦ – 3В"–1	0,27	75,0
2. Суміш "ПЦ – 3В"–2		77,5
3. Суміш "ПЦ – 3В"–3		88,4
4. Суміш "ПЦ – В"–1	0,31	71,5
5. Суміш "ПЦ – В"–2		70,8
6. Суміш "ПЦ – В"–3		86,5

Міцність зразків каменя на основі модифікованого портландцементу виявилася вище у порівнянні з контрольними зразками відповідно для суміші "ПЦ – 3В"–3 на 18%, для суміші "ПЦ – В"–3 – на 21%.

Дані дериватографічного аналізу (рис. 4) сумішей "ПЦ – 3В"–1 і "ПЦ – 3В"–3 (№ 1 і № 3 в табл. 3) свідчать про позитивний вплив електричного модифікування цементу мінеральною добавкою на його ступінь гідратації. Загальні втрати маси зразка № 3 склали 13,3% у порівнянні з 12,0% — для контрольного складу. При цьому в температурному інтервалі розкладання 40-170-330 °С (криві DTG), що

відповідає видаленню адсорбційної води з гідросилікатів кальцію, втрати маси у зразка № 3 склали 53,2 мг/г, в той час як для контрольного зразка — 50,2 мг/г. Крім того, зниження величини втрат маси в температурному інтервалі 445–490–540 °С для активованого цементу ($\Delta m = 17,7$ мг/г) у порівнянні з контрольним ($\Delta m = 19,0$ мг/г) свідчить про зниження вмісту гідрату окису кальцію у зв'язку з його взаємодією з кремнеземом золи-винесення. При цьому активація поверхневих центрів мінеральної добавки повинна сприяти інтенсифікації пуцоланових реакцій в цементному камені, що твердне. Згідно [15], найбільш міцні конденсаційно-кристалізаційні структури формуються тоді, коли цементні новоутворення локалізуються на реакційних поверхнях частинок мінеральної добавки і утворюються структурно-подібні гідросилікати в зоні контактів.

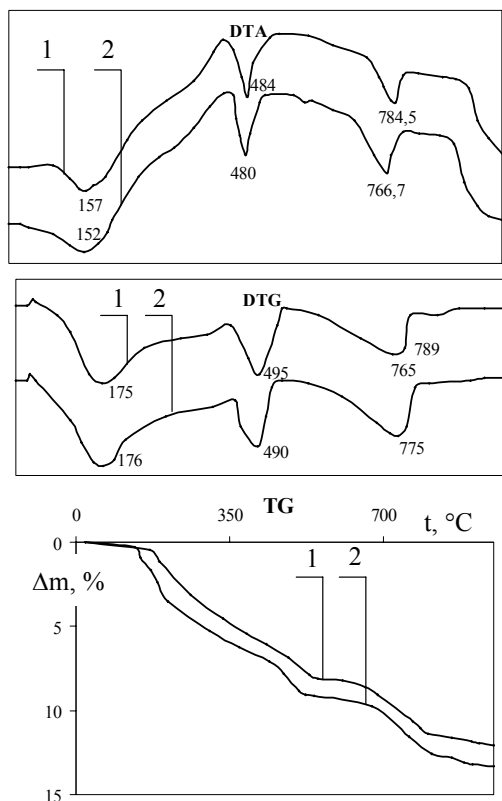


Рис. 4. Дериватограми зразків цементного каменя з мінеральними добавками: 1 — зразок з суміші "ПЦ - 3В"-1 (контрольний); 2 — те ж, "ПЦ - 3В"-3 (модифікований).

Рентгенофазовий аналіз каменя в'язучого з добавкою золи-винесення показав (рис. 5), що зразки містять в основному такі фази: аліт Ca_3SiO_5 ($d = 0,303; 0,277; 0,274; 0,260; 0,232; 0,176; 0,163$ нм) і кварц $\beta\text{-SiO}_2$ ($d = 0,424; 0,334; 0,245; 0,228; 0,181$ нм) — складові мінерали відповідно портландцементного клінкеру та золи-винесення.

З новоутворень цементного каменя ідентифіковано мінерал портландит $\text{Ca}(\text{OH})_2$, — $d = 0,493; 0,311; 0,263; 0,179; 0,169$ нм.

Відносна інтенсивність ліній аліта для зразка з модифікованого цементу в порівнянні з аналогічними лініями для контрольного зразка складає: $d = 0,303 - 1; 0,277 - 0,85; 0,274 - 0,9; 0,260 - 0,76; 0,176 - 0,77$. Спостерігається також зниження інтенсивності лінії $\beta\text{-SiO}_2$: $d = 0,334 - 0,8$.

Інтенсивність ліній портландита для складів № 1 і № 3 відрізняється несуттєво. В той же час дифракційні відбиття гідросилікатів кальцію модифікованого цементу більш сильні: $d = 0,307 - 1,67; 0,280 - 1,33; 0,183 - 2,3; 0,167 - 1,4$.

Отже результати РФА узгоджуються з даними ДТГ і підтверджують гіпотезу про вплив складу і концентрації активних центрів поверхні мінеральних добавок на процеси гідратації в'язучого.

3. Висновки. Встановлено, що біполярна обробка портландцементу та мінеральних добавок з наступним інтенсивним змішуванням призводить до утворення більш крупних частинок у порівнянні з дисперсністю вихідних порошків. Це відбувається на підвищенні рухливості як самих мінеральних дисперсій, так і цементних паст. Високовольтна поляризація модифікує електроповерхневі властивості дисперсних компонентів бетону, що позначається на зміні концентрації кислотно-лужних поверхневих центрів і, як наслідок, на процесах формування структури та властивостей цементного каменя. Зниження питомої поверхні модифікованого цементу та зміна поверхневих властивостей мінеральних добавок мусить істотно впливати на величину адсорбції суперпластифікаторів, що має дуже велике значення в технології бетонів з високими показниками якості — *High Performance Concrete*. Для підтвердження цієї гіпотези необхідно провести комплекс додаткових досліджень.

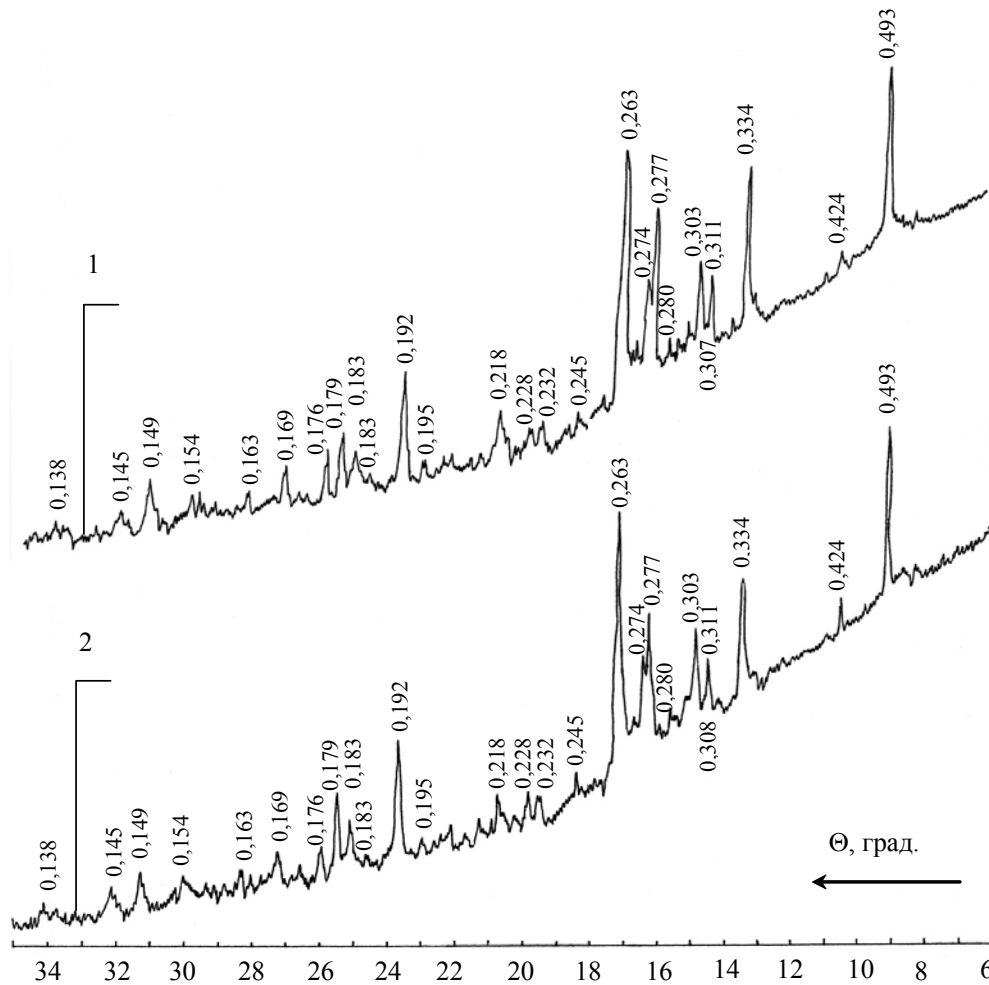


Рис. 5. Рентгенограми зразків цементного каменя з мінеральними добавками: 1 – зразок з суміші “ПЦ – 3В”-1 (контрольний); 2 – те ж, “ПЦ – 3В”-3 (модифікований).

Література

1. Малинина Л.А., Батраков В.Г. Бетонovedение: настоящее и будущее // Бетон и железобетон. – 2003. – №1. – С. 2-6.
2. Voglis N., Tsvilis S., Kakali G., Chaniotakis E., Meletiου C. Limestone, fly ash, slag and natural pozzolana: a comparative study of their effect on the cement properties / Proc. International Conf. “Creating with Concrete”. – Dundee. – 1999. – P. 203-209.
3. Tanaka I., Koishi M., Shinohara K. A study on the process for formation of spherical cement through an examination of the changes of powder properties and electrical charges of the cement and its constituent materials during surface modification / Cement and Concrete Research. – 2002. – Vol.32, № 1. – P. 57-64.
4. Tanaka I., Suzuki N., Ono Y., Koishi M. Fluidity of spherical cement and mechanism for creating high fluidity // Cement and Concrete Research. – 1998. – Vol.28, № 1 – P. 63-74.
5. Tanaka I., Suzuki N., Ono Y., Koishi M. A comparison of the fluidity of spherical cement with that of broad cement and a study of the properties of fresh concrete using spherical cement // Cement and Concrete Research. – 1999. – Vol.29, №4. – P. 553-560.
6. Бабушкин В.И., Кондращенко Е.В., Костюк Т.А., Прошин О.Ю., Бобко В.А., Рудяченко И.Ф. Влияние электроповерхностных явлений на процессы твердения цементного камня и бетона / Материалы II Всероссийской конференции по бетону и железобетону. – Москва. – 2005. – С. 19-23.

7. Матвиенко В.А., Толчин С.М. Электрические явления и активационные воздействия в технологии бетона. — Макеевка: РИС, 1998. — 141 с.
8. Олофинский Н.Ф. Электрические методы обогащения. Изд. 3-е, перераб. и доп. — М.: Недра, 1970. — 522 с.
9. Волькенштейн Ф.Ф. Электроны и кристаллы. — М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983. — 128 с.
10. Вагнер Г.Р. Физико-химия процессов активации цементных дисперсий. — К.: Наукова думка, 1980. — 200 с.
11. Комохов П.Г. Наукоемкая технология конструкционного бетона как композиционного материала // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. — 2002. — № 4. — С. 36-37.
12. Нечипоренко А.П., Шевченко Г.К. Исследование влияния термообработки и дисперсности образца на кислотно-основные свойства поверхности кремнезема // Журнал общей химии. — 1985. — Том 55, вып. 2. — С. 244-253.
13. Иорданова Е.Н., Корсаков В.Г., Цветкова М.Н., Митев Д.Т. Влияние неоднородности поверхности дисперсного диоксида на свойства композитов // Журнал прикладной химии. — 2003. — Том 76, вып. 3. — С. 393-397.
14. Зимон А.Д., Андрианов Е.И. Аутогезия сыпучих материалов. — М.: Металлургия, 1978. — 288 с.
15. Круглицкий Н.Н. Очерки по физико-химической механике. — К.: Наук. думка, 1988. — 224 с.

Братчун Валерій Іванович — д.т.н., професор, перший проректор, завідувач кафедри “Технологія будівельних матеріалів, виробів і автомобільних доріг” Донбаської національної академії будівництва і архітектури.

Зайченко Микола Михайлович — докторант, к.т.н., доцент кафедри “Технологій будівельних матеріалів, виробів і автомобільних доріг” Донбаської національної академії будівництва і архітектури.

Халюшев Олександр Каюмович — аспірант, кафедри “Технологія будівельних матеріалів, виробів і автомобільних доріг” Донбаської національної академії будівництва і архітектури.

Сахошко Олена Володимирівна — магістрант, кафедри “Технологія будівельних матеріалів, виробів і автомобільних доріг” Донбаської національної академії будівництва і архітектури.

Братчун Валерий Иванович — д.т.н., профессор, первый проректор, заведующий кафедрой “Технология строительных материалов, изделий и автомобильных дорог” Донбасской национальной академии строительства и архитектуры.

Зайченко Николай Михайлович — докторант, к.т.н., доцент кафедры “Технология строительных материалов, изделий и автомобильных дорог” Донбасской национальной академии строительства и архитектуры.

Халюшев Александр Каюмович — аспирант, кафедры “Технология строительных материалов, изделий и автомобильных дорог” Донбасской национальной академии строительства и архитектуры.

Сахошко Елена Владимировна — магистрант, кафедры “Технология строительных материалов, изделий и автомобильных дорог” Донбасской национальной академии строительства и архитектуры.

Bratchun Valery Ivanovych — Dr. Sc., Professor, Pro-rector, the Head of Department of technologies of building materials, products and automobile roads Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture.

Zaychenko Mikola Mykhaylovych — Fellowship for Dr.Sc, PhD, Assistant Professor the Department of technologies of building materials, products and automobile roads Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture.

Khalyushev Olexandr Kayumovych — Postgraduate, the Department of technologies of building materials, products and automobile roads Donbas National Academy for Civil Engineering and Architecture

Sakhoshko Olena Volodimirivna — Student, the Department of technologies of building materials, products and automobile roads Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture.