

DOI: 10.12737/article\_5bab4a20598ad9.13288459

<sup>1</sup>Бондаренко Д.О., аспирант,<sup>2</sup>Бессмертный В.С., д-р техн. наук, проф.,<sup>1</sup>Бондаренко Н.И., канд. техн. наук, доц.,<sup>1</sup>Борисов И.Н., д-р техн. наук, проф.,<sup>3</sup>Брагина Л.Л., д-р техн. наук, проф.,<sup>1</sup>Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,<sup>2</sup>Белгородский университет кооперации экономики и права,<sup>3</sup>Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЖИДКОГО СТЕКЛА НА КИНЕТИКУ ДЕГИДРАТАЦИИ ГИДРАТИРОВАННОГО ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА В НЕИЗОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Рассмотрены особенности дегидратации различных гидратных фаз гидратированного портландцемента с участием жидкого стекла. Установлено, что в условиях неизотермического нагрева наблюдается три эндоэффекта, связанные с дегидратацией этtringита в интервале температур 98,7–110,0 °С, разложением гидроксида кальция в интервале температур 439,4–450,7 °С и разложением вторичного кальцита в интервале температур 657,4–669,3 °С. Исследовано влияние жидкого стекла в составе портландцемента на эндоэффекты дегидратации этtringита, гидроксида кальция и вторичного кальцита. Установлено, что с увеличением скорости нагрева с 5 до 10 °С/мин эндоэффекты смещаются в область высоких температур. Исследована кинетика дегидратации этtringита, гидроксида кальция и вторичного кальцита в неизотермических условиях. Экспериментально подтверждено, что на скорость дегидратации гидратированного портландцемента существенное влияние оказывает концентрация жидкого стекла в цементе. Обосновано оптимальное содержание жидкого стекла в гидратированном портландцементе.

При содержании жидкого стекла в составе гидратированного портландцемента в количестве 5 и 10 % установлена закономерность снижения скорости дегидратации этtringита и гидроксида кальция. В высокотемпературной области скорость дегидратации гидратированного портландцемента с содержанием 5 % жидкого стекла возрастает по сравнению дегидратацией гидратированного цемента без жидкого стекла. Скорость дегидратации гидратированного портландцемента с содержанием 10 % жидкого стекла возрастает более значительно, что может оказать отрицательное воздействие на прочность композиционных материалов на основе портландцемента при плазмохимическом модифицировании.

На основе экспериментальных данных получены уравнения, связывающие температуру эффекта со скоростью нагрева. Определены температуры эндоэффектов при плазменной обработке композиций на основе портландцемента при скорости нагрева 3000 °С/мин.

**Ключевые слова:** жидкое стекло, портландцемент, кинетика дегидратации, неизотермические условия, этtringит, скорость нагрева, эндоэффекты.

**Введение.** Современные технологии получения защитно-декоративных покрытий на бетоне и других композиционных материалах с использованием плазменного нагрева предусматривают кратковременный разогрев лицевой поверхности до 2000 °С [1–5]. В результате высокотемпературного воздействия в поверхностных слоях изделия протекает дегидратация гидросиликатов. Это приводит к образованию микротрещин и разупрочнению защитно-декоративного покрытия [6–8], и как следствие снижению прочности сцепления покрытия с основой и морозостойкости [9–13].

В работе [14] исследована кинетика дегидратации гидросиликатов в силикатном кирпиче при его плазменной обработке, как тоберморит состава  $5\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , афиллит и кальцит

$\text{CaCO}_3$ . Кинетика двухступенчатого процесса дегидратации  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  в глинозёмистом цементе была изучена в работе [15] при скоростях нагрева 5 и 10 °С/мин.

Кинетика дегидратации гидросиликатов гидратированного портландцемента в неизотермических условиях исследована в недостаточном объеме и требует своего решения.

**Методология.** В качестве объекта исследования был использован портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н по ГОСТ 10178–85 и жидкое натриевое стекло по ГОСТ 13078–81. Портландцемент затворяли водой (В/Ц = 0,5) и после твердения в течение 28 суток подвергали исследованию. Готовили три партии: чистый цемент, портландцемент с добавлением 5 % жидкого стекла и портландцемент с добавлением 10 % жидкого стекла.

Кинетику дегидратации гидросиликатов при скорости нагрева 5 и 10 °С/мин исследовали на приборе синхронного термического анализа NETZSCH STA 449 F3 Jupiter. Фазовый состав определяли с использованием дифрактометра ARL X'TRA.

**Основная часть.** На дериватограмме чистого гидратированного портландцемента имеется три эндоэффекта (рис. 1). Первый эндоэффект, протекающий в интервале температур 98,7–110,0 °С в низкотемпературной области, связан с дегидратацией этtringита

( $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12}\cdot 26\text{H}_2\text{O}$ ) и удалением физической воды. Эндоэффекты данных двух процессов накладываются друг на друга. Второй связан с дегидратацией  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и протекает в районе температур 439,4–450,7 °С. Третий эндоэффект (657,4–669,3 °С) связан в основном с дегидратацией вторичного карбоната. Полная потеря воды наблюдается при 900 °С.

Аналогичные результаты исследований были получены с гидратированным портландцементом при добавлении 5 и 10 % жидкого стекла (рис. 2).

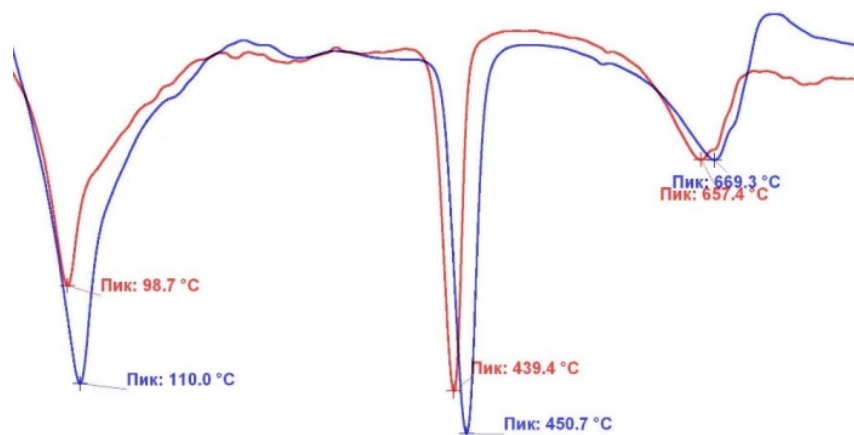


Рис. 1. Дериватограмма гидратированного портландцемента:

— скорость нагрева 5 °С/мин; — скорость нагрева 10 °С/мин

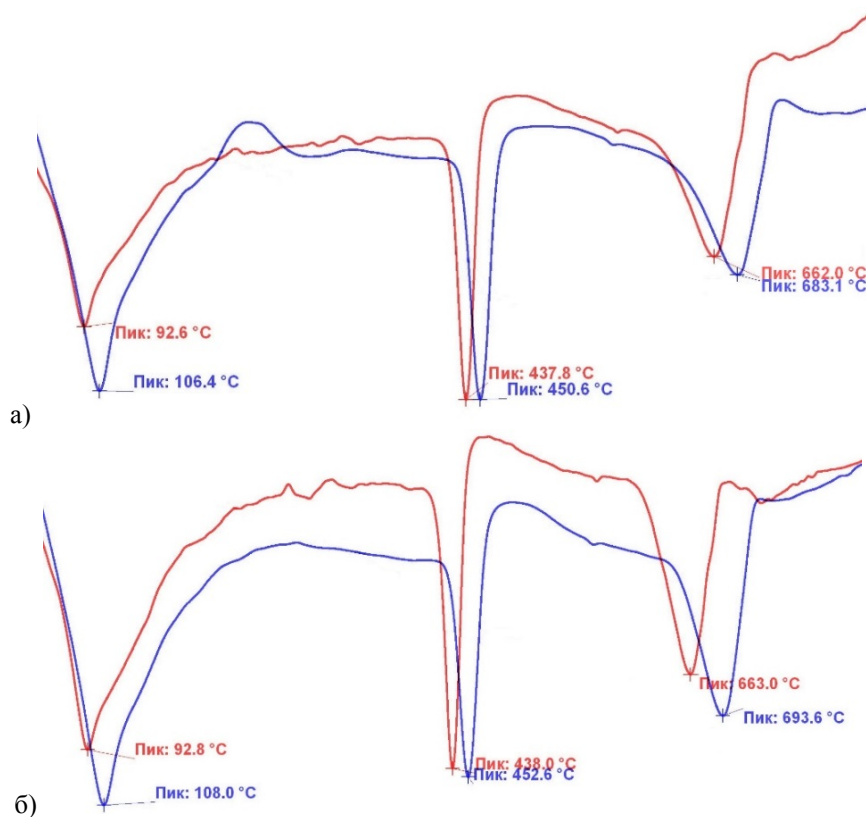


Рис. 2. Дериватограммы гидратированного портландцемента с содержанием:

*a* – 5 % жидкого стекла; *b* – 10 % жидкого стекла;

— скорость нагрева 5 °С/мин; — скорость нагрева 10 °С/мин

Анализ кривых ДТА показал, что добавка жидкого стекла, как и скорость нагрева, смещает

все эндоэффекты в область высоких температур (табл. 1).

Таблица 1

## Эндоэффекты при нагреве со скоростями 5 и 10 °С/мин

Наименование минералов	Чистый гидратированный портландцемент		Портландцемент + 5 % жидкого стекла		Портландцемент + 10 % жидкого стекла	
	Скорость нагрева, °С/мин					
	5	10	5	10	5	10
Этtringит $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$ и физическая вода	98,7	110,0	92,6	106,4	92,8	108,0
Гидроксид кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$	439,4	450,7	437,8	450,6	438,0	452,6
Вторичный кальцит $\text{CaCO}_3$	657,4	669,3	662,0	683,1	663,0	693,6

Следует отметить положительное влияние добавки жидкого стекла на эндоэффекты вторичного кальцита и гидросиликатов. При добавлении в портландцемент 5 % жидкого стекла при скорости нагрева 5 °С/мин температура эндоэффекта повышается с 657,4 до 662,0 °С. С увеличением количества жидкого стекла до 10 % температура эндоэффекта возрастает с 662,0 до 663,0 °С.

При скорости нагрева 10 °С/мин разница температур эндоэффектов дегидратации гидросиликатов ещё более возрастает. При добавлении 5 % жидкого стекла температура эндоэффекта дегидратации гидросиликатов по сравнению с чистым гидратированным цементом возрастает с 669,3 до 683,1 °С, а при 10 % жидкого стекла – с 669,3 до 693,6 °С.

Таким образом, доказано положительное влияние жидкого стекла на смещение эндоэффектов дегидратации гидросиликатов, отвечающих за разупрочнение гидратированного портландцемента и образование микротрещин в более высокую температурную область.

Анализ результатов исследований потери массы чистого гидратированного портландцемента при скорости нагрева 10 °С/мин, а также портландцемента с добавками жидкого стекла позволил выявить следующие зависимости. Добавление в портландцемент натриевого жидкого стекла в количестве 5 и 10 % заметно снижает интенсивность потери массы (ТГ) в области дегидратации этtringита (рис. 3, табл. 2–4). Однако в высокотемпературной области интенсивность дегидратации портландцемента возрастает до 2–3 %. Особенно это заметно с 10 % жидкого стекла.

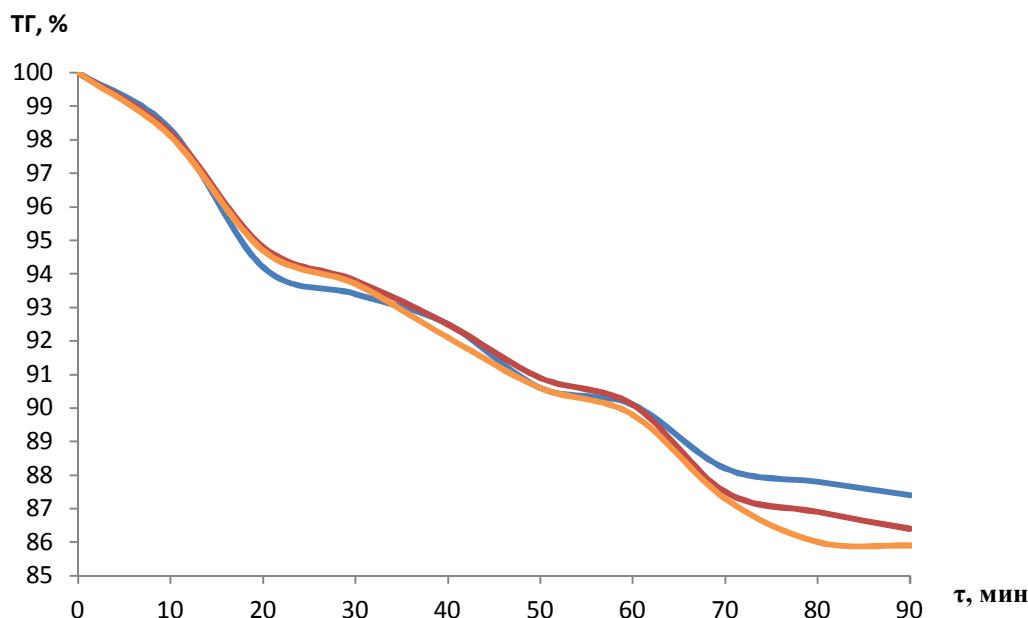


Рис. 3. Зависимость потери воды от времени при скорости нагрева 10 °С/мин:

— портландцемента; — портландцемента с 5 % жидкого стекла;  
— портландцемента с 10 % жидкого стекла

Таблица 2

**Влияние скорости нагрева цементного камня  
на температуру эндоэффектов и скорость потери воды**

Скорость нагрева					
5 °С/мин			10 °С/мин		
ТГ, %	H <sub>2</sub> O, %	T <sub>эффекта</sub> , °С	ТГ, %	H <sub>2</sub> O, %	T <sub>эффекта</sub> , °С
2,4	19,1	98,7	2,2	17,5	110,0
8,5	67,7	439,4	8,3	66,2	450,7
11,5	91,6	657,4	11,2	89,4	669,3
12,55	100	999,6	12,52	100	999,6

Таблица 3

**Влияние скорости нагрева цементного камня с 5 % жидкого стекла  
на температуру эндоэффектов и скорость потери воды**

Скорость нагрева					
5 °С/мин			10 °С/мин		
ТГ, %	H <sub>2</sub> O, %	T <sub>эффекта</sub> , °С	ТГ, %	H <sub>2</sub> O, %	T <sub>эффекта</sub> , °С
1,8	13,5	92,6	2,0	15,0	106,4
8,2	61,3	437,8	8,5	63,7	450,6
11,9	89,0	662,0	12,1	90,7	683,1
13,37	100	999,8	13,33	100	999,7

Таблица 4

**Влияние скорости нагрева цементного камня с 10 % жидкого стекла  
на температуру эндоэффектов и скорость потери воды**

Скорость нагрева					
5 °С/мин			10 °С/мин		
ТГ, %	H <sub>2</sub> O, %	T <sub>эффекта</sub> , °С	ТГ, %	H <sub>2</sub> O, %	T <sub>эффекта</sub> , °С
2,0	6,46	92,8	2,2	7,62	108,0
9,0	39,98	438,0	9,2	41,01	452,6
12,9	87,01	663,0	12,4	89,05	693,6
14,07	100	999,9	14,04	100	999,7

Наиболее высокая скорость дегидратации наблюдается в низкотемпературной области (рисунки 4, таблицы 2–4), что связано с дегидратацией этрингита (первый пик). Второй и третий

пики, связанные с дегидратацией Ca(OH)<sub>2</sub>, вторичного кальцита и различных гидросиликатов, по интенсивности существенно уступают первому пику.

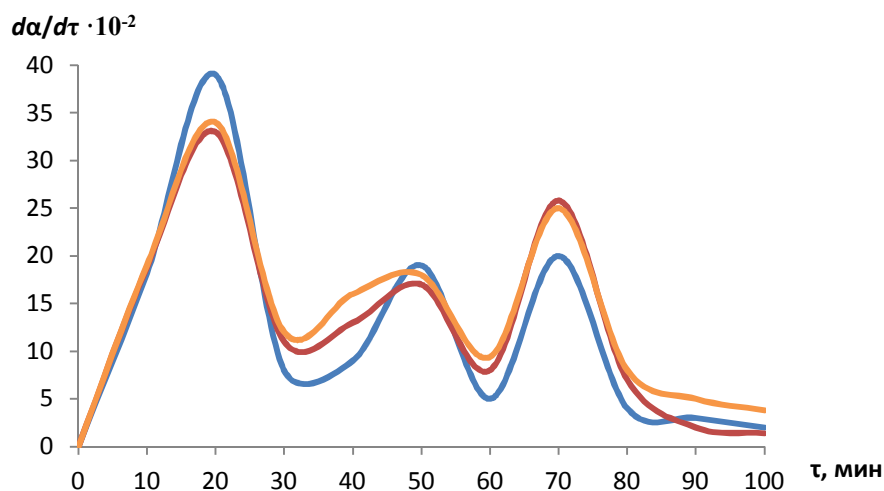


Рис. 4. Зависимость скорости дегидратации от времени при скорости нагрева 10 °С/мин:

— портландцемента; — портландцемента с 5 % жидкого стекла;  
— портландцемента с 10 % жидкого стекла

Снижение скорости дегидратации первого и второго пиков для гидратированного портландцемента с содержанием 5 и 10 % натриевого жидкого стекла оказывает положительное влияние на минимизацию образования микротрещин в композите.

Скорость дегидратации в высокотемпературной области портландцемента с 5 % жидкого стекла выше, чем чистого портландцемента (третий пик). При увеличении в портландцементе натриевого жидкого стекла до 10 % скорость дегидратации возрастает, что может оказать отрицательное воздействие на прочностные характеристики композитов на основе портландцемента.

Из ранее опубликованных работ известно, что с увеличением скорости нагрева эндо- и экзоэффекты смещаются в область высоких температур [15]. В.С. Рамачандраном доказано, что с увеличением скорости нагрева с 10 до 50 °С/мин эндоэффекты дегидратации каолинита смещаются в область высоких температур с 535 до 583 °С. Зависимость, связывающая температуру (Т) эндоэффектов со скоростью нагрева (β), описывалась выражением [16]:

$$T = 480 + 73 \cdot \lg \beta.$$

Полученные уравнения, связывающие температуру эффектов от скорости нагрева β, представлены в табл. 5.

Таблица 5

#### Уравнения, связывающие температуру эффектов от скорости нагрева

Наименование минералов	Чистый гидратированный портландцемент	Портландцемент + 5 % жидкого стекла	Портландцемент + 10 % жидкого стекла
Гидроксид кальция Ca(OH) <sub>2</sub>	$T = 414,91 + 35,9 \cdot \lg \beta$	$T = 408,22 + 42,38 \cdot \lg \beta$	$T = 404,26 + 48,34 \cdot \lg \beta$
Вторичный карбонат кальция CaCO <sub>3</sub>	$T = 629,9 + 39,4 \cdot \lg \beta$	$T = 613,23 + 69,87 \cdot \lg \beta$	$T = 592,3 + 101,3 \cdot \lg \beta$

В реальных условиях плазмохимического модифицирования композиционного облицовочного материала эндоэффекты смещаются в область высоких температур значительно выше, чем при скоростях нагрева 5 и 10 °С/мин. Как показали исследования, оптимальным является содержание в портландцементе 5 % жидкого стекла.

Рассчитаем температуру второго эндотермического эффекта при скорости нагрева 3000 °С/мин.

$$T = 408,22 + 42,38 \cdot \lg 3000,$$

$$T = 408,22 + 42,38 \cdot 3,48 = 555,7 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Рассчитаем температуру третьего эндотермического эффекта при скорости нагрева 3000 °С/мин.

$$T = 613,23 + 69,87 \cdot \lg 3000,$$

$$T = 613,23 + 69,87 \cdot 3,48 = 856,37 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Таким образом, результаты исследований позволили установить зависимости эндотермических эффектов дегидратации как при скоростях нагрева 5 и 10 °С/мин, так и в реальных условиях плазмохимического модифицирования.

**Выводы.** Установлены закономерности влияния жидкого стекла на процессы дегидратации гидратированного портландцемента. Показано, что в неизотермических условиях жидкое стекло

влияет на скорость дегидратации. На основе экспериментальных исследований получены уравнения, связывающие температуру эффектов от скорости нагрева.

*Источник финансирования.* Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта Президента для научных школ НШ-2724.2018.8.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Скрипникова Н.К., Волокитин Г.Г., Волокитин О.Г. Плазмохимические процессы в силикатных материалах. Томск: Изд-во ТГАСУ, 2014. 250 с.
2. Volokitin O., Volokitin G., Skripnikova N., Shekhovtsov V. Plasma technology for creation of protective and decorative coatings for building materials // AIP Conference Proceedings. 2016. Vol. 1698. Article number 070022.
3. Волокитин О.Г. Исследование физических характеристик струи силикатного расплава в условиях дополнительного подогрева // Вестник ТГАСУ. 2010. № 4. С. 117–120.
4. Volokitin O.G., Shekhovtsov V.V. Prospects of application of low-temperature plasma in construction and architecture // Glass Physics and Chemistry. 2018. Vol. 44. Issue 3. P. 251–253.
5. Казьмина О.В., Верещагин В.И. Методологические принципы синтеза пеностеклокри-

сталлических материалов по низкотемпературной технологии // Строительные материалы. 2014. № 8. С. 41–45.

6. Баженов Ю.М., Федосов С.В., Щепочкина Ю.А., Акулова М.В. Высокотемпературная отделка бетона стекловидными покрытиями. М.: Изд-во АСВ, 2005. 128 с.

7. Федосов С.В., Акулова М.В., Щепочкина Ю.А., Подлозный Э.Д., Наumenко Н.Н. Плазменное оплавление строительных композитов. М.: Изд-во АСВ; Иваново: Изд-во ИГАСУ, 2009. 228 с.

8. Bondarenko D.O., Bessmertnyi V.S., Bondarenko N.I., Burlakov N.M. Plasma-chemical modification of concrete processed by colorific metal salts // Advances in Engineering Research. 2017. Vol. 133. P. 130–134.

9. Ковальченко Н.А., Здоренко Н.М., Бурлаков Н.М., Карайченцев Р.С. Плазменное напыление цветных металлов на изделиях стеновой керамики // Международный журнал экспериментального образования. 2016. № 11–1. С. 81.

10. Волокитин Г.Г., Скрипникова Н.К., Волокитин О.Г. Разработка плазменных технологий для стройиндустрии // Актуальные проблемы современности. 2017. № 1 (15). С. 150–154.

11. Аньшаков А.С., Волокитин Г.Г., Волокитин О.Г., Скрипникова Н.К. Электротехнологические установки для плазменно-термической обработки материалов. Томск: Изд-во ТГАСУ, 2014. 126 с.

12. Федосов С.В., Акулова М.В., Кошелев Е.В. Закрепление плазмооплавленного стекловидного декоративного слоя на бетоне с помощью пропиток // Научный Вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. 2008. № 3. С. 44–49.

13. Скрипникова Н.К., Петраченко В.В., Жаров И.К. Взаимодействие плазменных потоков с поверхностью строительных материалов // Нетрадиционные технологии в строительстве: тез. докл. Томск, 1999. С. 88–90.

14. Ильина И.А. Плазмохимическая модификация силикатных строительных материалов автоклавного твердения: дис. ... канд. техн. наук. Белгород, 2015. 190 с.

15. Бондаренко Н.И. Плазмохимическое модифицирование бетона с защитно-декоративными покрытиями на основе глинозёмистого цемента: дис. ... канд. техн. наук. Белгород, 2017. 162 с.

16. Рамачандран В.С. Применение дифференциального термического анализа в химии цементов. М.: Стройиздат, 1977. 408 с.

#### *Информация об авторах*

**Бондаренко Диана Олеговна**, аспирант кафедры материаловедения и технологии материалов.

E-mail: di\_bondarenko@mail.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Бессмертный Василий Степанович**, доктор технических наук, профессор кафедры товароведения непродовольственных товаров и таможенной экспертизы.

E-mail: bessmertnyu.vs@bstu.ru, vbessmertnyi@mail.ru

Белгородский университет кооперации, экономики и права.

Адрес: Россия, 308023, Белгород, ул. Садовая, д. 116а.

**Бондаренко Надежда Ивановна**, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии стекла и керамики.

E-mail: bondarenko.ni@bstu.ru; bondarenko-71@mail.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Борисов Иван Николаевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии цемента и композиционных материалов.

E-mail: xtsm@intbel.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Брагина Людмила Лазаревна**, доктор технических наук, профессор кафедры технологии керамики, огнеупоров, стекла и эмалей.

E-mail: bragina\_l@ukr.net

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт».

Адрес: Украина, 61002, Харьков, ул. Кирпичева, д. 2.

---

*Поступила в июне 2018 г.*

© Бондаренко Д.О., Бессмертный В.С., Бондаренко Н.И., Борисов И.Н., Брагина Л.Л., 2018

**Bondarenko D.O., Bessmertnyi V.S., Bondarenko N.I., Borisov I.N., Bragina L.L**  
**INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF LIQUID GLASS ON KINETICS OF DEHYDRATION**  
**OF HYDRATED PORTLANDCEMENT IN NON-ISOTHERMAL CONDITIONS**

*Features of dehydration of various hydrated phases of hydrated Portland cement with the participation of liquid glass are considered. It was found that under conditions of nonisothermal heating, three endoeffects are observed. They are associated with dehydration of ettringite in the temperature range 98.7–110.0 °C, decomposition of calcium hydroxide in the temperature range 439.4–450.7 °C, and decomposition of secondary calcite in the temperature range 657.4–669.3 °C. The effect of liquid glass in Portland cement on the endoeffects of dehydration of ettringite, calcium hydroxide and secondary calcite was studied. It was found that with an increase in the heating rate from 5 to 10 °C/min, the endoeffects are shifted to high temperatures. The kinetics of the dehydration of ettringite, calcium hydroxide and secondary calcite under non-isothermal conditions was studied. It has been experimentally confirmed that the rate of dehydration of hydrated Portland cement is significantly affected by the concentration of liquid glass in the cement. The optimum content of liquid glass in hydrated Portland cement is substantiated.*

*With the content of liquid glass in the hydrated Portland cement in the amount of 5 and 10 %, the regularity of the decrease in the rate of dehydration of ettringite and calcium hydroxide was established. In the high-temperature region, the rate of dehydration of hydrated Portland cement with a 5 % content of liquid glass increases compared to the dehydration of hydrated cement without liquid glass. The rate of dehydration of hydrated Portland cement with a content of 10 % liquid glass increases more significantly, which may have a negative effect on the strength of Portland cement-based composite materials during plasma-chemical modification.*

*On the basis of experimental data, equations are obtained which relate the temperature of the effect to the rate of heating. The temperatures of endoeffects at plasma treatment of Portland cement composites at a heating rate of 3000 °C/min are determined.*

**Keywords:** liquid glass, portland cement, kinetics of dehydration, non-isothermal conditions, ettringite, heating rate, endoeffects.

#### REFERENCES

1. Skripnikova N.K., Volokitin G.G., Volokitin O.G. Plasma-chemical processes in silicate materials. Tomsk: TGASU, 2014, 250 p.
2. Volokitin O., Volokitin G., Skripnikova N., Shekhovtsov V. Plasma technology for creation of protective and decorative coatings for building materials. AIP Conference Proceedings, 2016, vol. 1698, article number 070022.
3. Volokitin O.G. Research of physical characteristics of silicate melt stream at additional heating. Vestnik of TSUAB, 2010, no. 4, pp. 117–120.
4. Volokitin O.G., Shekhovtsov V.V. Prospects of application of low-temperature plasma in construction and architecture. Glass Physics and Chemistry, 2018, vol. 44, no. 3, pp. 251–253.
5. Kaz'mina O.V., Vereshchagin V.I. Methodological Principles of Synthesis of Foam-Glass-Crystal Materials According to Low-Temperature Technology. Stroitel'nyye materialy, 2014, no. 8, pp. 41–45.
6. Bazhenov Yu.M., Fedosov S.V., Shchepochkova Yu.A., Akulova M.V. High-temperature finishing of concrete with vitreous coatings. Moscow: ASV, 2005, 128 p.
7. Fedosov S.V., Akulova M.V., Shchepochkina Yu.A., Podlozny E.D., Naumenko N.N. Plasma fusion of building composites. Moscow: ASV; Ivanovo: IGASU, 2009, 228 p.
8. Bondarenko D.O., Bessmertnyi V.S., Bondarenko N.I., Burlakov N.M. Plasma-chemical modification of concrete processed by colorific metal salts. Advances in Engineering Research, 2017, vol. 133, pp. 130–134.
9. Kovalchenko N.A., Zdorenko N.M., Burlakov N.M., Karaychentsev R.S. Plasma sputtering of non-ferrous metals on wall ceramics. International journal of experimental education, 2016, no. 11–1, pp. 81.
10. Volokitin G.G., Skripnikova N.K., Volokitin O.G. Development of plasma technologies for the construction industry. Actual problems of the present, 2017, no. 1 (15), pp. 150–154.
11. Anshakov A.S., Volokitin G.G., Volokitin O.G., Skripnikova N.K. Electrotechnological installations for plasma-thermal processing of materials. Tomsk: TGASU, 2014, 126 p.
12. Fedosov S.V., Akulova M.V., Koshelev E.V. Fixation of a plasma-melted glassy decorative layer on concrete with the help of impregnations. Nauchnyy Scientific Herald of Voronezh State Architectural and Construction University, 2008, no. 3, pp. 44–49.
13. Skripnikova N.K., Petrachenko V.V., Zharov I.K. Interaction of plasma flows with the surface of building materials. Non-traditional technologies in construction: thesis of reports. Tomsk, 1999, pp. 88–90.

14. Il'ina I.A. Plasma-chemical modification of silicate building materials of autoclave hardening. dis. ... cand. tech. sciences. Belgorod, 2015, 190 p.

15. Bondarenko N.I. Plasmochemical modification of concrete with protective-decorative coatings

based on alumina cement. dis. ... cand. tech. sciences. Belgorod, 2017, 162 p.

16. Ramachandran V.S. Application of differential thermal analysis in the chemistry of cements. M.: Stroyizdat, 1977, 408 p.

*Information about the author*

**Diana O. Bondarenko**, Research assistant.

E-mail: di\_bondarenko@mail.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Vasiliy S. Bessmertnyi**, DSc, Professor.

E-mail: bessmertnyy.vs@bstu.ru, vbessmertnyi@mail.ru

Belgorod University of Cooperation, Economics & Law.

Russia, 308023, Belgorod, st. Sadovaya, 116a.

**Nadezda I. Bondarenko**, PhD, Assistant professor.

E-mail: bondarenko.ni@bstu.ru; bondarenko-71@mail.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Ivan N. Borisov**, DSc, Professor.

E-mail: xtsm@intbel.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Liudmyla L. Bragina**, DSc, Professor.

E-mail: bragina\_l@ukr.net

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute".

Ukraine, 61002, Kharkov, st. Kirpicheva, 2.

---

*Received in June 2018*

**Для цитирования:**

Бондаренко Д.О., Бессмертный В.С., Бондаренко Н.И., Борисов И.Н., Брагина Л.Л. Исследование влияния жидкого стекла на кинетику дегидратации гидратированного портландцемента в неизотермических условиях // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №9. С. 98–105. DOI: 10.12737/article\_5bab4a20598ad9.13288459

**For citation:**

Bondarenko D.O., Bessmertnyi V.S., Bondarenko N.I., Borisov I.N., Bragina L.L. Investigation of the influence of liquid glass on kinetics of dehydration of hydrated portlandcement in non-isothermical conditions. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 9, pp. 98–105. DOI: 10.12737/article\_5bab4a20598ad9.13288459