

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-12-119-125

Бондаренко Н.И., Бондаренко Д.О., Евтушенко Е.И.Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова***E-mail: bondarenko-71@mail.ru*

ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СТЕКЛОВОЛОКНА С ПРОДУКТАМИ ГИДРАТАЦИИ ЦЕМЕНТА

Аннотация. Армирование бетона стекловолокном позволяет улучшить эксплуатационные свойства бетона. Объектом исследования являлся стеклофибробетон, где в качестве вяжущего применялся портландцемент или глинозёмистый цемент, а в качестве наполнителя – кремнезёмное стекловолокно. Изучены химический и фазовый составы портландцемента и глинозёмистого цемента. Исследовано влияние продуктов гидратации портландцемента и глинозёмистого цемента на химическую устойчивость стекловолокна. С использованием рентгенофазового анализа исследован фазовый состав портландцемента и глинозёмистого цемента после гидратации. Выявлено, что в глинозёмистом цементе присутствуют следующие фазы: CaOAl_2O_3 , MgOAl_2O_3 , $12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$, $2\text{CaO}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3\cdot \text{SiO}_2$, фазовый состав портландцемента – $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12}\cdot 12\text{H}_2\text{O}$, $\text{Ca}_{2,25}(\text{Si}_3\text{O}_{7,5}(\text{OH})_{1,5})\cdot (\text{H}_2\text{O})$, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaCO_3 . Установлено, что портландцемент при гидратации отрицательно воздействует на стекловолокно из-за присутствия в нём $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Фазовый состав глинозёмистого цемента после гидратации показал отсутствие $\text{Ca}(\text{OH})_2$. С использованием рентгенофлуоресцентного метода анализа исследован химический состав стекловолокна. Обосновано применение глинозёмистого цемента при использовании в композиционном материале нещелочестойкого стекловолокна. Проведено исследование устойчивости стекловолокна в среде цементной вытяжки. Исследования показали, что стекловолокно марки КВ-11 с продуктами гидратации глинозёмистого цемента менее взаимодействовало, чем с продуктами гидратации портландцемента.

Ключевые слова: стекловолокно, гидратация, цементная вытяжка, фибробетон, щелочестойкость, глинозёмистый цемент, портландцемент.

Введение. В настоящее время армирование бетонов различными волокнами является наиболее перспективным и применяемым в строительной отрасли [1–3]. Обычный бетон при высыхании даёт усадку, что является причиной образования трещин и, как следствие, происходит снижение его прочностных характеристик. Улучшить свойства бетонов можно за счёт введения в его состав оптимального количества волокон различного назначения и их равномерного распределения [4–7]. Армирование стекловолокном позволяет улучшить эксплуатационные характеристики бетонов. Кроме того, благодаря применению стекловолокна как армирующего материала бетонов расширился спектр его применения [8, 9]. Иногда армирование стекловолокном является безальтернативным методом улучшения характеристик изделий [10]. Стеклофибра увеличивает прочностные характеристики при значительно меньших дозировках, чем стальная и полипропиленовая фибры, поэтому популярность её использования постоянно возрастает.

Однако на сегодняшний день недостаточно изучена стойкость волокон в цементно-щелочной среде, что является препятствием для массового внедрения стеклофибробетона. Для бетонов с

матрицей на основе портландцемента можно использовать только щелочестойкое стекловолокно, а для глинозёмистых обычное алюмосиликатное стекловолокно, так как при твердении в нём отсутствует свободная известь, которая вызывает коррозию стекловолокна.

Материалы и методы. Для проведения экспериментальных исследований были использованы следующие сырьевые материалы: портландцемент марки ЦЕМ I 42,5Н производства ЗАО «Белгородский цемент» (ГОСТ 10178–85); глинозёмистый цемент марки ВГЦ-1-35 производства ОАО «Пашийский металлургическо-цементный завод» (ГОСТ 969–2019); песок Корочанского месторождения (ГОСТ 8736–2014); стекловолокно марки КВ-11 производства АО «НПО Стеклопластик» (ГОСТ Р 56212–2014); вода (ГОСТ 23732–2011).

Количественный химический состав стеклошариков, из которых было произведено стекловолокно, определяли с помощью спектрометра APL 9900 «Thermo scientific» рентгенофлуоресцентным методом. Устойчивость стекловолокна к цементной вытяжке определяли по стандартной методике согласно ГОСТ 473.2–81. Для исследования была задействована лабораторная водяная баня.

Фазовый состав портландцемента и глинозёмистого цемента до и после гидратации определяли на дифрактометре марки ARL X'TRA. Для экспериментальных исследований фазового состава гидратированного цемента его затворяли водой и полученную смесь укладывали в формы. После гидратации и твердения портландцемента в течение 28 суток, а также гидратации и твердения глинозёмистого цемента в течение 3 суток образцы извлекали из форм и исследовали с помощью рентгенофазового анализа.

Основная часть. Среди композиционных материалов важное место занимают стеклоцементные композиции, обладающие высокой прочностью, трещиностойкостью, малой плотностью, негорючестью, нетоксичностью [11]. Использование их вместо железобетона позволяет снизить: стоимость конструкций в 2–3, массу – в 8–10, расход цемента – в 2–4 раза.

Одним из направлений исследований в области стеклоцементных композиций является разработка специальных составов стекловолокон, стойких против действия среды твердеющего цемента [8]. Используемое в работе кремнезёмное волокно получают путём кислотной обработки срезов стекловолокна, изготовленных из комплексной стеклянной нити, выработанной из стекла на водоэмульсионном замасливателе. Варку стекла проводят в варочном бассейне газозлектрической стекловаренной печи, затем идёт формование стеклошариков (рис. 1) на формующей машине АСШ, из которых вырабатывается стекловолокно марки КВ-11 [12].

С помощью рентгенофлуоресцентного анализа был определён химический состав стеклошариков, который представлен в таблице 1.



Рис. 1. Стеклошарики, из которых получают стекловолокно марки КВ-11

Таблица 1

Химический состав стеклошариков

Содержание оксидов, мас. %					
SiO ₂	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	Прочее
71,81	21,15	4,05	0,16	0,10	2,73

С использованием рентгенофазового анализа исследован фазовый состав исходного портландцемента (рис. 2). Из исследований видно, что

основными фазами являлся двухкальциевый и трёхкальциевый силикаты.

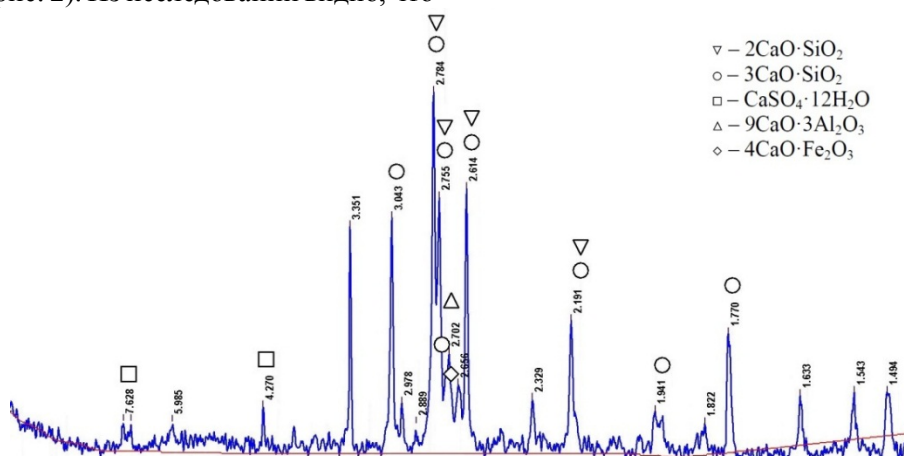


Рис. 2. Порошковая рентгеновская дифрактограмма портландцемента

Также исследованию подвергался гидратированный портландцемент. Выявлено, что основные гидратные фазы портландцемента – эттрингит $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12}\cdot 12\text{H}_2\text{O}$ и тоберморит

$\text{Ca}_{2,25}(\text{Si}_3\text{O}_{7,5}(\text{OH})_{1,5})\cdot (\text{H}_2\text{O})$ (рис. 3). Обнаружено значительное количество гидроксида кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и незначительное – вторичного карбоната кальция CaCO_3 .

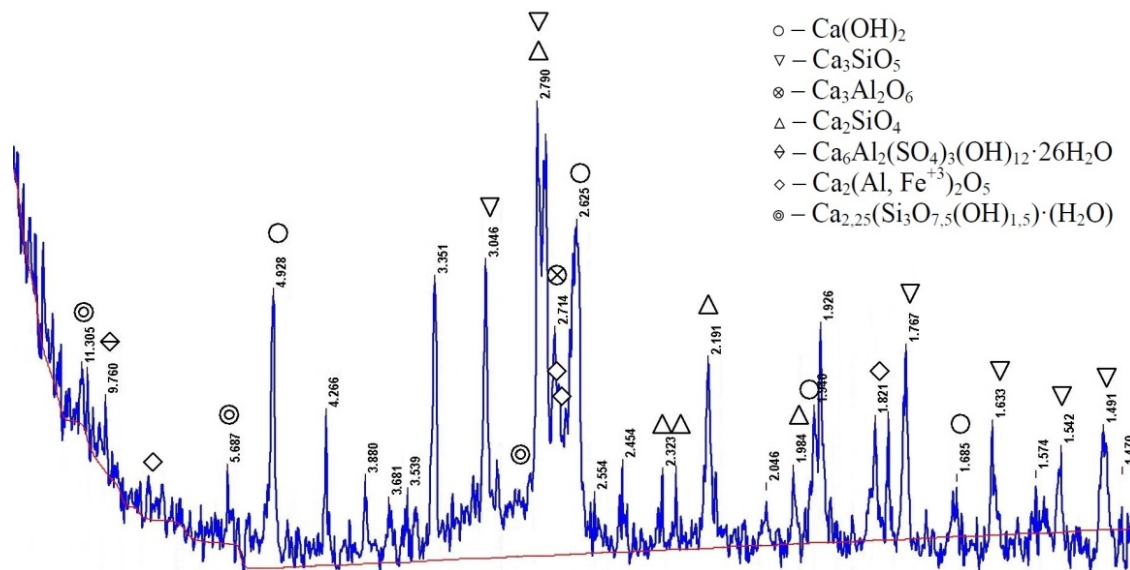


Рис. 3. Порошковая рентгеновская дифрактограмма гидратированного портландцемента

Глинозёмистый цемент производится комплексной плавкой в доменной печи, высокие прочностные показатели которого обуславливаются наличием в нём однокальциевого алюмината. Также в нём могут присутствовать следующие фазы – это однокальциевый диалюминат CaOAl_2O_3 и майенит $12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$. Если есть присутствие оксидов кремния и железа, то в конечном продукте возможно присутствие алюмоси-

ликатов, ферритов и алюмоферритов Ca. Высокую прочность и огнеупорность глинозёмистому цементу придаёт CaOAl_2O_3 . В шлаках от переработки кобальт-молибденового катализатора может присутствовать диалюминат кальция, $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ и геленит, относящийся к инертным минералам, а также шпинели и другие минералы [13–15]. Фазовый состав глинозёмистого цемента исследовали рентгенофазовым методом (рис. 4).

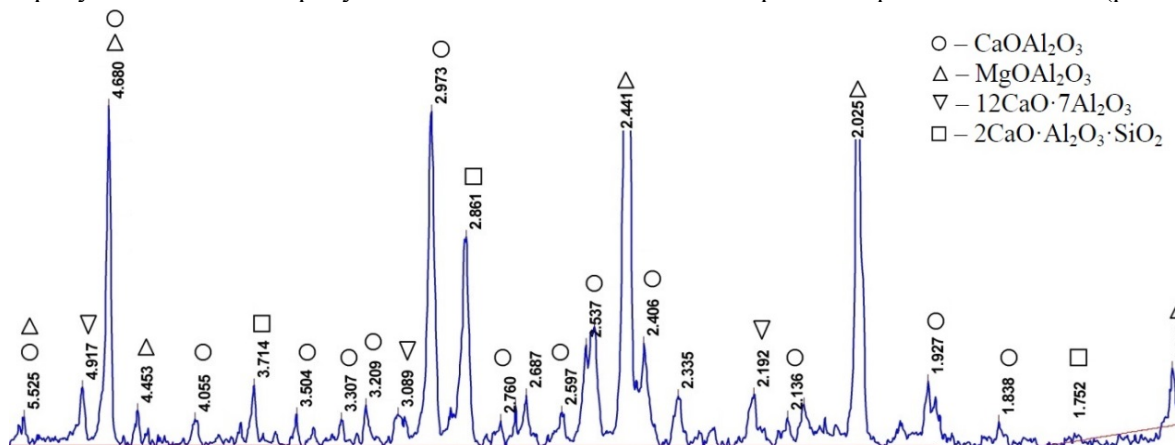


Рис. 4. Порошковая рентгеновская дифрактограмма глинозёмистого цемента

Фазовый состав глинозёмистого цемента представлен моноалюминатом кальция CaOAl_2O_3 , магниальной шпинелью MgOAl_2O_3 , майенитом $12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ и геленитом $2\text{CaO}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3\cdot \text{SiO}_2$. Моноалюминат кальция является вяжущей фазой, магниальная шпинель и геленит – инертные примеси.

На дифрактограмме гидратированного глинозёмистого цемента основная гидратная фаза

представлена гидроалюминатом кальция $\text{CaOAl}_2\text{O}_3\cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (рис. 5). Это основная цементная составляющая в гидратированном глинозёмистом цементе, которая является метастабильным продуктом гидратации СА. Помимо неё могут образовываться другие метастабильные продукты гидратации – это C_2AH_8 и C_4AH_{13} , которые в итоге переходят в стабильный кубический C_3AH_6 .

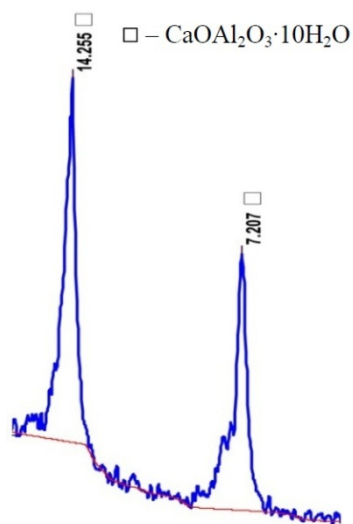


Рис. 5. Порошковая рентгеновская дифрактограмма гидратированного глинозёмистого цемента

Твердение портландцемента – сложный комплекс взаимосвязанных химических и физико-химических процессов, которые оказывают влияние на состояние армирующих наполнителей и композиционного материала в целом. Выбор вяжущего вещества – это главный момент при изготовлении стеклофибробетона [16–18]. Иногда целесообразно применение глинозёмистого цемента, так как он интенсивно кристаллизуется, сохраняет прочность

стеклофибробетона и повышает его водонепроницаемость. Традиционно применяемый портландцемент, реагируя с водой, надежно защищает металлическую арматуру, но отрицательно воздействует на стекловолокно.

Чтобы сделать заключение о возможности использования стекловолокна данного состава в качестве армирующих элементов бетона было проведено исследование устойчивости стекловолокна в среде цементной вытяжки. Испытания проводили аналогично определению щелочестойкости по ГОСТ 473.2–81.

Была приготовлена цементная вытяжка на основе портландцемента и цементная вытяжка на основе глинозёмистого цемента. Кипячение стекловолокна на водяной бане происходило в течение 1 часа.

Устойчивость стекла к цементной вытяжке (Ц) вычисляли по формуле, %:

$$Ц = \frac{m_1 \cdot 100}{m}, \quad (1)$$

где m – масса стекловолокна до испытания, г;
 m_1 – масса стекловолокна после испытания, г.

За окончательный результат принимали среднее арифметическое результатов двух параллельных определений, расхождение между которыми не должно превышать 0,5 % (таблица 2, 3).

Таблица 2

Результаты исследования устойчивости стекловолокна к цементной вытяжке на основе портландцемента

№ пробы	Масса навески стекловолокна, г		Устойчивость стекловолокна к цементной вытяжке, %	
	m	m_1	Отдельной пробы	Средняя
1	1,007	0,9217	91,53	88,36
2	1,006	0,8533	85,19	

Таблица 3

Результаты исследования устойчивости стекловолокна к цементной вытяжке на основе глинозёмистого цемента

№ пробы	Масса навески стекловолокна, г		Устойчивость стекловолокна к цементной вытяжке, %	
	m	m_1	Отдельной пробы	Средняя
1	1,002	0,9869	98,49	97,26
2	1,003	0,9632	96,03	

Исследования показали, что стекловолокно марки КВ-11 с продуктами гидратации глинозёмистого цемента менее взаимодействовало, чем с продуктами гидратации портландцемента. В растворе портландцемента присутствует гидроксид кальция, который способствует разрушению стеклянных волокон. Поэтому, выбирая в качестве вяжущего для стеклофибробетона портландцемент, нужно использовать устойчивую к щелочам фибру.

Выводы. Исследование фазового состава глинозёмистого цемента после гидратации

показало отсутствие в нём $\text{Ca}(\text{OH})_2$, который вызывает щелочную коррозию стекловолокна. Проведённый эксперимент показал, что портландцемент, реагируя с водой, отрицательно воздействует на кремнезёмистое стекловолокно, а именно, стойкость стекловолокон в образующей щелочной среде уменьшается.

Источник финансирования. Программа развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова с использованием оборудования ЦВТ на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ключев С.В., Ключев А.В., Шорстова Е.С. Фибробетон для 3-d аддитивных технологий // Строительные материалы и изделия. 2019. Том 2. № 4. С. 14–20.
2. Hezhev T.A., Zhurtov A.V., Tsipinov A.S., Klyuev S.V. Fire resistant fibre reinforced vermiculite concrete with volcanic application // Magazine of Civil Engineering. 2018. No. 4. Pp. 181–194. DOI: 10.18720/MCE.80.16.
3. Ключев С.В., Лесовик В.С., Ключев А.В., Бондаренко Д.О. К вопросу применения нескольких видов фибр для дисперсно-армированных бетонов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. № 4. С. 81–83.
4. Володченко А.А. Влияние искусственных гидросиликатов кальция на процессы твердения и свойства неавтоклавных силикатных материалов на основе нетрадиционного алюмосиликатного сырья // Строительные материалы и изделия. 2020. Т. 3. № 2. С. 19–28. DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-2-19-28.
5. Klyuev S.V., Bratanovskiy S.N., Trukhanov S.V., Manukyan H.A. Strengthening of concrete structures with composite based on carbon fiber // Journal of Computational and Theoretical Nanoscience. 2019. Vol. 16. Issue 7. P. 2810–2814. DOI: 10.1166/jctn.2019.8132.
6. Klyuev S.V., Klyuev A.V., Khezhev T.A., Pukharenskiy Y.V. Fiber concrete for industrial and civil construction // Materials Science Forum. 2018. Vol. 945. P. 120–124. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.945.120.
7. Lesovik V.S., Bessonov I.V., Bulgakov B.I., Larsen O.A., Puchka O.V., Vaysera S.S. Approach on improving the performance of thermal insulating and acoustic glass composites // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 463. Article number 042030. DOI: 10.1088/1757-899X/463/4/042030.
8. Гутников С.И., Лазорьяк Б.И., Селезнев А.Н. Стекланные волокна. М.: МГУ, 2010. 53 с.
9. Ерофеев В.Т., Баженов Ю.М., Балатханова Э.М., Митина Е.А., Емельянов Д.В., Родин А.И., Карпушин С.Н. Получение и физико-механические свойства цементных композитов с применением наполнителей и воды затворения месторождений чеченской республики // Вестник МГСУ. 2014. № 12. С. 141–151.
10. Ключев С.В., Лесовик Р.В. Дисперсно-армированный мелкозернистый бетон стекловолокном // Бетон и железобетон. 2011. № 6. С. 4–6.
11. Ерофеев В.Т., Федорцов А.П., Федорцов В.А. Повышение коррозионной стойкости цементных композитов активными добавками // Строительство и реконструкция. 2020. № 2 (88). С. 51–60. DOI: 10.33979/2073-7416-2020-88-2-51-60.
12. Канович М.З., Трофимов Н.Н. Сопротивление композиционных материалов. М.: Мир, 2003. 504 с.
13. Рамачандран В.С. Применение дифференциального термического анализа в химии цементов. М.: Стройиздат, 1977. 408 с.
14. Бондаренко Н.И., Бессмертный В.С., Борисов И.Н., Тимошенко Т.И., Слабинская И.А., Бондаренко Д.О., Макаров А.В. Исследование кинетики дегидратации глинозёмистого цемента в условиях неизотермического нагрева // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 5. С. 155–160.
15. Ерофеев В.Т., Федорцов А.П., Богатов А.Д., Федорцов В.А. Оценка и прогнозирование физико-химического сопротивления стеклощелочных композитов и методы его повышения // Известия вузов. Строительство. 2017. №6 (702). С. 5–14.
16. Ключев С.В. Применение композиционных вяжущих для производства фибробетонов // Технологии бетонов. 2012. № 1–2 (66–67). С. 56–57.
17. Логанина В.И., Жерновский И.В., Жегера К.В. Структурообразование цементного камня в присутствии добавки на основе аморфных алюмосиликатов // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 3 (56). С. 142–148.
18. Amran M., Fediuk R., Vatin N., Yeong H.L., Gunasekaran M., Togay O., Klyuev S., Alabduljabber H. Fibre-reinforced foamed concretes: a review // Materials. 2020. Vol. 13. Issue 19. Article number 4323. DOI:10.3390/ma13194323.

Информация об авторах

Бондаренко Надежда Ивановна, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры технологии стекла и керамики. E-mail: bondarenko-71@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Бондаренко Диана Олеговна, кандидат технических наук, доцент 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.

Евтушенко Евгений Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры Технология стекла и керамики. E-mail: eveviv@intbel.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 21.11.2020 г.

© Бондаренко Н.И., Бондаренко Д.О., Евтушенко Е.И., 2020

***Bondarenko N.I., Bondarenko D.O., Evtushenko E.I.**
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
*E-mail: bondarenko-71@mail.ru

STUDY OF THE CHEMICAL INTERACTION OF GLASS FIBER WITH CEMENT HYDRATION PRODUCTS

Abstract. Reinforcement of concrete with fiberglass improves the performance properties of concrete. The object of the study is fiberglass concrete, where Portland cement or alumina cement is used as a binder, and silica fiberglass is used as a filler. The chemical and phase compositions of Portland cement and alumina cement have been studied. The influence of the products of hydration of Portland cement and alumina cement on the chemical resistance of glass fiber has been investigated. The phase composition of Portland cement and alumina cement after hydration is studied using X-ray phase analysis. It is revealed that the following phases are present in alumina cement: CaOAl_2O_3 , MgOAl_2O_3 , $12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$, $2\text{CaO}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3\cdot \text{SiO}_2$, the phase composition of Portland cement is $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12}\cdot 12\text{H}_2\text{O}$, $\text{Ca}_{2,25}(\text{Si}_3\text{O}_{7,5}(\text{OH})_{1,5})\cdot (\text{H}_2\text{O})$, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaCO_3 . It has been found that when hydrated, Portland cement has a negative effect on fiberglass due to the presence of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ in it. The phase composition of the alumina cement after hydration shows the absence of $\text{Ca}(\text{OH})_2$. The chemical composition of fiberglass is investigated using X-ray fluorescence analysis. The use of alumina cement when using non-alkali-resistant fiberglass in a composite material is substantiated. The study of the stability of fiberglass in the environment of cement drawing has been carried out. Studies have shown that KV-11 grade fiberglass interacted less with hydration products of alumina cement than with hydration products of Portland cement.

Keywords: fiberglass, hydration, cement extraction, fiber concrete, alkali resistance, alumina cement, Portland cement.

REFERENCES

1. Klyuev S.V., Klyuev A.V., Shorstova E.S. Fiber concrete for 3-d additive technologies [Fibrobeton dlya 3-d additivnykh tekhnologij]. Construction Materials and Products. 2019. Vol. 2. No 4. Pp. 14–20. (rus)
2. Hezhev T.A., Zhurtov A.V., Tsipinov A.S., Klyuev S.V. Fire resistant fibre reinforced vermiculite concrete with volcanic application. Magazine of Civil Engineering. 2018. No. 4. Pp. 181–194. DOI: 10.18720/MCE.80.16.
3. Klyuyev S.V., Lesovik V.S., Klyuev A.V., Bondarenko D.O. The question of several species fiber for fiber concrete [K voprosu primeneniya neskol'kih vidov fibr dlya dispersno-armirovannykh betonov]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2012. No. 4. Pp. 81–83. (rus)
4. Volodchenko A.A. Influence of artificial calcium hydrosilicates on the hardening processes and properties of non-autoclave silicate materials based on unconventional aluminosilicate raw materials [Vliyaniye iskusstvennykh gidrosilikatov kal'ciya na processy tverdeniya i svoystva neavtoklavnykh silikatnykh materialov na osnove netraditsionnogo al'yumosilikatnogo syr'ya]. Construction Materials and

Products. 2020. Vol. 3. No. 2. Pp. 19–28. DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-2-19–28. (rus)

5. Klyuev S.V., Bratanovskiy S.N., Trukhanov S.V., Manukyan H.A. Strengthening of concrete structures with composite based on carbon fiber. Journal of Computational and Theoretical Nanoscience. 2019. Vol. 16. No 7. Pp. 2810–2814. DOI: 10.1166/jctn.2019.8132.

6. Klyuev S.V., Klyuev A.V., Khezhev T.A., Pukharenskiy Y.V. Fiber concrete for industrial and civil construction. Materials Science Forum. 2018. Vol. 945. Pp. 120–124. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.945.120.

7. Lesovik V.S., Bessonov I.V., Bulgakov B.I., Larsen O.A., Puchka O.V., Vaysera S.S. Approach on improving the performance of thermal insulating and acoustic glass composites. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 463. Article number 042030. DOI: 10.1088/1757-899X/463/4/042030.

8. Gutnikov S.I., Lazoryak B.I., Seleznev A.N. Glass fibers [Steklyannye volokna]. Moscow: MSU, 2010. 53 p. (rus)

9. Erofeev V.T., Bazhenov Yu.M., Balatkhanova E.M., Mitina E.A., Emel'yanov D.V., Rodin A.I., Karpushin S.N. Obtaining and physical

mechanical properties of cement composites with the use of fillers and mixing water from the Chechen Republic fields [Poluchenie i fiziko-mekhanicheskie svoystva tsementnykh kompozitov s primeneniem napolniteley i vody zatvoreniya mestorozhdeniy Chechenskoj Respubliki]. Vestnik MGSU. 2014. No. 12. Pp. 141–151. (rus)

10. Klyuev S.V., Lesovik R.V. Dispersed-reinforced fine-grained concrete with fiberglass [Dispersno-armirovannyj melkozernistyj beton steklovoloknom]. Beton i zhelezobeton. 2011. No. 6. Pp. 4–6. (rus)

11. Erofeev V.T., Fedortsov A.P., Fedortsov V.A. The increasing of corrosive resistance of cement composites by active additives [Povyshenie korrozionnoj stojkosti cementnykh kompozitov aktivnymi dobavkami]. Building and reconstruction. 2020. No. 2 (88). Pp. 51–60. DOI: 10.33979/2073-7416-2020-88-2-51-60. (rus)

12. Kanovich M.Z., Trofimov N.N. Resistance of composite materials [Soprotivlenie kompozicionnykh materialov]. Moscow: Mir, 2003. 504 p. (rus)

13. Ramachandran V.S. Application of differential thermal analysis in cement chemistry [Primenenie differencial'nogo termicheskogo analiza v himii cementov]. Moscow: Stroyizdat, 1977. 408 p. (rus)

14. Bondarenko N.I., Bessmertnyy V.S., Borisov I.N., Tymoshenko T.I., Slabinskaya I.A., Bondarenko D.O., Makarov A.V. Research of kinet-

ics of dehydration of aluminous cement in the conditions of not isothermal heating [Issledovanie kinetiki degidracii glinozymistogo cementa v usloviyah neizotermicheskogo nagreva]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2016. No. 6. Pp. 155–160. (rus)

15. Erofeev V.T., Fedortsov A.P., Bogatov A.D., Fedortsov V.A. Assessment and forecasting of physical and chemical resistance of glass alkali composites and methods of his increase [Ocenka i prognozirovaniye fiziko-himicheskogo soprotivleniya stekloshchelochnykh kompozitov i metody ego povysheniya]. News of higher educational institutions. Construction. 2017. No. 6 (702). Pp. 5–14. (rus)

16. Kluyev S.V. Composite binders use for the production of fiber-concretes [Primenenie kompozicionnykh vyazhushchih dlya proizvodstva fibrobetonov]. Concrete Technologies. 2012. No. 1–2 (66–67). Pp. 56–57. (rus)

17. Loganina V.I., Zhernovskiy I.V., Zhegera K.V. Pattern formation of cement stone in the presence of additive based on amorphous aluminum silicates [Strukturoobrazovanie cementnogo kamnya v prisutstvii dobavki na osnove amorfnykh alyumosilikatov]. Bulletin of Civil Engineers. 2016. No. 3 (56). Pp. 142–148. (rus)

18. Amran M., Fediuk R., Vatin N., Yeong H.L., Gunasekaran M., Togay O., Klyuev S., Alabduljabber H. Fibre-reinforced foamed concretes: a review. Materials. 2020. Vol. 13. No. 19. Article number 4323. DOI:10.3390/ma13194323.

Information about the authors

Bondarenko, Nadezhda I. PhD. E-mail: bondarenko-71@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Bondarenko, Diana O. PhD. E-mail: di_bondarenko@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Evtushenko, Evgeny I. PhD, Professor. E-mail: eveviv@intbel.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostukova, 46.

Received 21.11.2020

Для цитирования:

Бондаренко Н.И., Бондаренко Д.О., Евтушенко Е.И. Исследование химического взаимодействия стекловолокна с продуктами гидратации цемента // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 12. С. 119–125. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-12-119-125

For citation:

Bondarenko N.I., Bondarenko D.O., Evtushenko E.I. Study of the chemical interaction of glass fiber with cement hydration products. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 12. Pp. 119–125. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-12-119-125