

Влияние универсальной добавки БЕСТ на свойства бетона

Любовь А. Виноградова¹ lavinogradova@ya.ru
Юлия Н. Грачева¹ lafigleam@ya.ru

¹ Ивановский государственный химико-технологический университет, пр-т Шереметевский, 7, г. Иваново, 153000, Россия

Аннотация. С целью совершенствования свойств бетона вводят в бетонную смесь различные химические добавки, которые позволяют существенно снизить уровень затрат на единицу продукции, повысить качество и эффективность бетонных и железобетонных конструкций, увеличить срок их службы, а также зданий и сооружений в целом. В настоящей работе представлены результаты регулирования скорости схватывания, прочности и морозостойкости бетона, модифицированного универсальной добавкой БЕСТ ООО «Макра». В качестве вяжущего вещества в бетонной смеси использовали портландцемент марки ЦЕМ I 42,5 Б ОАО «Мордовцемента», заполнителями являлись обогащенный кварцевый песок Хромцовского месторождения с модулем крупности 2,4 и гранитный щебень Орского месторождения фракции 5–20 мм с водопоглощением 0,2%. Изучено влияние универсальной добавки БЕСТ на строительно-технические свойства бетона с помощью определения скорости схватывания вяжущей системы и прочностных показателей затвердевшей композиции. Анализ данных показал, что введение регулятора в количестве 0,3% в бетонную смесь способствует длительному сохранению ее подвижности (до 4 ч) благодаря образованию адсорбционного слоя модификатора на поверхности зерен цемента, непроницаемого для воды. С повышением содержания (0,5–1,0%) БЕСТ в системе установлено ускорение скорости схватывания бетона за счет дефлокулирующего действия добавки. Нами выявлено повышение прочностных показателей модифицированного бетона (на 41%) по сравнению с без добавочным. Кроме того, введение универсальной добавки БЕСТ позволяет регулировать морозостойкость бетона в ~2 раза возможно за счет ускоренного формирования гелей гидроксидов кальция.

Ключевые слова: использование модифицирующих добавок, добавки в бетоны, модифицирование бетонов, технология, свойства, исследование на морозостойкость

The influence of universal additive BEST on the concrete properties

Lyubov A. Vinogradova¹ lavinogradova@ya.ru
Julia N. Gracheva¹ lafigleam@ya.ru

¹ Ivanovo state University of chemistry and technology, Sheremetevsky av., 7, Ivanovo, 153000, Russia

Abstract. In order to improve the properties of concrete, various chemical additives are introduced into the concrete mix which can significantly reduce the level of costs per unit of production, improve the quality and effectiveness of concrete and reinforced concrete structures, increase their service life as well as buildings and structures as a whole. This paper presents the results of the regulation of the setting speed, strength and frost resistance of concrete modified with the universal additive BEST LLC “Makra”. Portland cement CEM I 42.5 B of Mordovcement OJSC was used as a binder; the aggregates were enriched quartz sand from the Khromtsovskoye deposit with a size of 2.4 and granite rubble of the Orsk deposit of 5–20 mm with water absorption of 0.2%. The effect of the universal BEST additive on the construction and technical properties of concrete was studied by determining the binder system setting speed and the hardened composition strength characteristics. Data analysis showed that the introduction of a regulator in the amount of 0.3% into the concrete mixture contributes to the long-term preservation of its mobility (up to 4 hours) due to the water-proof modifier adsorption layer formation on the cement grains surface. With an increase in the content (0.5–1.0%) of BEST in the system the concrete setting speed acceleration was established due to the additive deflocculating effect. We have identified an increase in the strength characteristics of the modified (by 41%) concrete compared with no additional. Besides, the introduction of the universal additive BEST allows you to adjust the concrete frost resistance ~2 times possibly due to accelerated formation of calcium hydroxides gels.

Keywords: modifying agents use, concrete additives, concrete manufacturing technology, concrete modification, concrete properties, research on frost resistance

Введение

Для повышения эффективности, качества и долговечности бетона, а также совершенствования его свойств применяют различные технологические приемы [1–6], наиболее доступным из которых является введение в бетонную смесь химических добавок. Последние позволяют существенно снизить уровень затрат на единицу продукции, повысить качество и эффективность бетонных и железобетонных конструкций, увеличить срок их службы, а также зданий и сооружений в целом [7–12].

Ранее [13] нами было выявлено модифицирование бетонной смеси суперпластификатором

«ПОЛИПЛАСТ СП-3», производитель ОАО «Полипласт». Установлено, что при содержании 0,5–1,0% регулятора в составе композиции позволяет ускорить ее скорость схватывания за счет с пептизирующего действия добавки, тогда как при меньших количествах добавки процесс схватывания бетонной смеси замедляется. Кроме того, найдено оптимальное содержание модификатора, способствующее набору необходимой скорости структурообразования системы и формированию прочных структур твердения с определенными эксплуатационными характеристиками. Введение 0,5% СП-3 в бетонную смесь способствует приросту прочности образцов на 22%.

Для цитирования

Виноградова Л.А., Грачева Ю.Н. Влияние универсальной добавки БЕСТ на свойства бетона // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 361–365. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-361-365

For citation

Vinogradova L.A., Gracheva Ju.N. The influence of universal additive BEST on the concrete properties. *Vestnik VGUET* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 361–365. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-361-365

Представлены результаты регулирования скорости схватывания, прочности и морозостойкости бетона, модифицированного универсальной противоморозной добавкой БЕСТ.

Материалы и методы

В качестве вяжущего вещества в бетонной смеси использовали портландцемент марки ЦЕМ I 42,5 Б ОАО «Мордовцемента», соответствующий требованиям ГОСТ 31108-2003 [14] (минералогический состав его клинкера (массовое содержание, %): C_3S – 62; C_2S – 14; C_3A – 6,5; C_4AF – 12).

Заполнителями бетона являлись обогащенный кварцевый песок Хромцовского месторождения с модулем крупности 2,4, отвечающий требованиям ГОСТ 8736–2014 [15], и гранитный щебень Орского месторождения фракции 5–20 мм с водопоглощением 0,2%, соответствующий требованиям ГОСТ 8267-93 [16]. В качестве регулятора использовали противоморозную универсальную добавку для бетонов и растворов «БЕСТ» (БЕСТ), которую выпускает ООО «МаКра», г. Новочебоксарск в форме водорастворимых гранул белого цвета по ТУ 5775–001–94089809–2007 [17].

Регулирование свойств бетона введением добавки оценивали по скорости схватывания цементного теста нормальной густоты, приготовленного смешиванием регулятора с водой и цементом. Предел прочности при сжатии бетонной композиции в 3-, 7- и 28-суточном возрасте определяли в соответствии с ГОСТ 310.3–76 [128]. Для определения прочностных характеристик готовили бетонную смесь М300 с соотношением компонентов, представленным в таблице 1.

Таблица 1.

Соотношение компонентов в бетонной смеси

Table 1.

The Ratio of Components in Concrete Mix

Состав бетонной смеси The composition of the concrete mix	Массовое содержание, % Mass content, %	
	Без добавки No additive	С добавкой With additive
Цемент Cement	13,83	12,83
Песок Sand	32,31	34,18
Гравий Gravel	46,95	46,58
Вода Water	6,91	6,41
Добавка БЕСТ Supplement BEST	–	0,30

Введение добавки БЕСТ осуществляли в виде водного раствора с массовым содержанием 0,3–1,0% от массы цемента, при этом она вводилась сверх 100% состава бетонной смеси.

Твердение бетонных композиций осуществлялось при тепловлажностной обработке образцов в пропарочной камере при температурах

до 80 °С и давлении 0,3 МПа. Морозостойкость готового изделия определяли по стандартной методике по ГОСТ 10060-2012 [19]. При этом проверяли образцы в возрасте 28 сут после попеременного замораживания и оттаивания в 5%-ном растворе хлористого натрия на 20 и 30 циклы (по ускоренному методу).

Результаты и обсуждение

Интенсивное изменение пластических свойств цемента, как главной составляющей бетона, происходит в период схватывания композиции. Схватывание – это частичная, а затем и полная потеря подвижности и способности формоваться цементного теста, соответствующая началу и концу процесса. В это время смесь обладает незначительной механической прочностью и в ней проявляются свойства хрупкой смеси, т. е. способность разрушаться без пластической деформации.

Скорость схватывания можно регулировать, например, добавлением гипса, объемом воды, температурой воздуха, а также введением различных добавок. Так, нами были определены сроки схватывания композиции с различным содержанием добавки БЕСТ (таблица 2).

Таблица 2.

Влияние количества введения добавки БЕСТ на сроки схватывания, ч-мин

Table 2.

The influence of the additive BEST amount on the setting time, h-min

Количество добавки, % Amount of additive, %	Начало схватывания Start setting	Конец схватывания End of setting
0	2–20	3–55
0,3	4–01	6–02
0,5	1–58	2–51
0,8	1–35	2–21
1,0	1–01	2–44

Установлено, что введение добавки БЕСТ неоднозначно воздействовало на скорость схватывания вяжущих композиций. Небольшое содержание модификатора (0,3%) в бетонной смеси приводило к некоторому замедлению схватывания вяжущей композиции по сравнению с бездобавочным цементом. Предположительно, это может быть связано с тем, что при малой концентрации регулятора в системе он ведет себя как пластификатор. Механизм действия последнего заключается в образовании адсорбционного слоя добавки на поверхности зерен цемента, непроницаемого для воды. При этом продолжительность схватывания замедляется по времени приблизительно в ~1,5 раза, что приведет к существенному

увеличению предварительной выдержки железобетонных изделий при их производстве, которая может отрицательно отразиться на сроках изготовления конструкций.

Повышение содержания регулятора влечет за собой существенное ускорение схватывания вяжущей композиции, при этом положительно сказываясь на формировании структуры цементного камня. Возможно такой эффект объясняется тем, что при концентрации модификатора от 0,5 до 1,0% за счет дефлокулирующего действия поверхностно-активной добавки растет площадь контакта цемента с водой, и количество новообразований увеличивается.

Активизация процесса гидратации цемента с введением 0,5–0,8% регулятора способствует сокращению периода схватывания вяжущей системы в ~2 раза (с 1,5 ч до 46 мин), что позволит сократить продолжительность предварительной выдержки железобетонных изделий при их производстве, которая приведет к увеличению оборачиваемости форм.

В результате введения добавки БЕСТ в количестве 0,3–0,8% отчетливо обнаруживается существенное повышение прочностных показателей бетонных композиций по сравнению с прочностью обычного бетона (рисунок 1). Данный эффект можно объяснить тем, что в присутствии исследуемой добавки наблюдается уменьшение объема межзернового пространства за счет более тесного контакта оболочек гидратированных продуктов на поверхности соседних зерен вяжущего, что приводит к образованию плотного и прочного конгломерата. Более того, происходит формирование более прочных соединений частиц растворенной добавки с молекулами воды (сольватов).

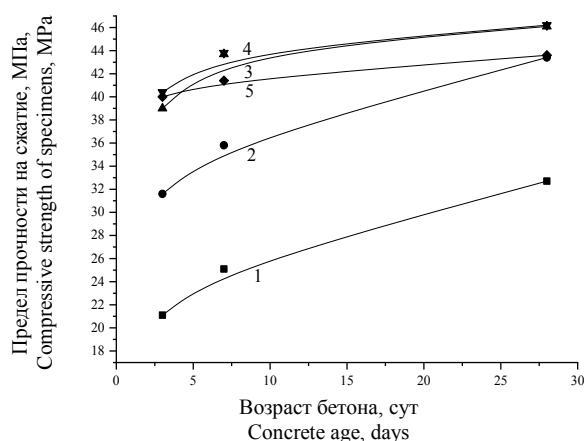


Рисунок 1. Зависимость предела прочности при сжатии от возраста бетона с добавкой БЕСТ. Концентрация добавки, %: 1 – 0; 2 – 0,3; 3 – 0,5; 4 – 0,8; 5 – 1,0

Figure 1. The dependence of the compressive strength on the age of concrete with the addition of BEST. Additive concentration, %: 1 – 0; 2 – 0,3; 3 – 0,5; 4 – 0,8; 5 – 1,0

Максимальные пределы прочности при сжатии бетона соответствуют введению в бетонную смесь модификатора в количестве 0,5–0,8% (рисунок 1, кривые 3 и 4).

Однако дальнейшее увеличение количества регулятора в бетоне приводит к снижению прочностных характеристик материала одновременно с сокращением сроков схватывания. Известно, что формирование прочности цементных бетонов обеспечивается образованием гидросиликатов кальция (ГСК), состав которых варьируется в широких пределах. При быстро протекающем структурообразовании могут фиксироваться промежуточные ГСК, имеющие меньшую прочность. Переход ГСК одного состава в другие соединения в уже схватившейся смеси сопровождается перестройкой структуры, а значит и понижением прочности.

Производителем добавки БЕСТ заявлен ее противоморозный эффект, который проявляется в способности бетонной композиции в насыщенном водой состоянии выдерживать многократное попеременное замораживание и оттаивание. В таких условиях разупорядочение структуры бетона и его последующее разрушение происходит за счет создаваемого замерзающей водой давления на стенки пор и устья микротрещин.

Критерием морозостойкости бетона является количество циклов, при котором потеря массы образца менее 5%, а его прочность снижается не более чем на 25%.

Результаты испытаний на морозостойкость бетона в зависимости от концентрации регулятора представлены в таблице 3.

Таблица 3.
Морозостойкость бетона

Table 3.
Concrete frost resistance

Массовое содержание добавки БЕСТ, % Mass content supplements BEST, %	Предел прочности на сжатие образцов в возрасте 28 сут, МПа Compressive strength, MPa, when tested for frost resistance	Предел прочности на сжатие, МПа, при испытании на морозостойкость Compressive strength of specimens at the age of 28 days, MPa	
		20 циклов 20 cycles	30 циклов 30 cycles
0,0	32,7	29,2	22,0
0,5	43,7	44,2	40,0

Примечание: Погрешность измерений находится в пределах 5%

Note: Measurement Error is within 5%

Использование добавки БЕСТ в бетонной смеси приводит не только к сохранению показателя прочности, но и к его значительному повышению в ~1,5 раза по сравнению с обычным бетоном. Возможно, это связано со снижением температуры замерзания воды и активизацией процесса гидратации цемента с ускоренным образованием гелей. Вследствие реакций обмена в раствор ускоренно выделяется свободный оксид кальция и повышается растворимость силикатных цементных составляющих, что ведет к формированию гелей гидроксидов кальция.

Заключение

Проведенные исследования подтвердили возможность регулирования свойств бетонов за счет введения добавки БЕСТ. Установлено, что введение регулятора в количестве 0,5–0,8% от массы цемента приводит к значительному ускорению скорости схватывания. Однако при содержании 0,3% модификатора в бетонной системе наблюдается существенное замедление процесса твердения с длительным сохранением

подвижности цементной смеси (до 4 ч) благодаря образованию адсорбционного слоя модификатора на поверхности зерен цемента, непроницаемого для воды.

При этом изучено поведение затвердевших вяжущих композиций под нагрузкой в зависимости от количества содержания в них добавки. Модифицирование бетона способствует приросту прочности образцов на 41%.

Кроме того, с помощью введения универсальной добавки БЕСТ удалось повысить морозостойкость бетона в ~2 раза, предположительно за счет снижения температуры замерзания воды и ускоренного формирования гелей гидроксидов кальция.

Благодаря направленному применению изученной добавки возможно создание оптимальной микроструктуры цементного камня, упрочнение контактных зон цементного камня и заполнителя, уменьшение макропористости и, как следствие, всех этих процессов, повышение прочности и морозостойкости всей конструкции.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Баженов Ю.М. Технология бетона: учебник. М.: Изд-во АСВ, 2002. 500 с.
- 2 Виноградова Л.А., Катаргина В.К., Колосов И.А. Основы технологии железобетонных изделий: учеб. пособие. Иваново: ИГХТУ, 2016. 227 с.
- 3 Özcan F., Karahan O., Atis C.D., Uncuoglu E. et al. Comparison of artificial neural network and fuzzy logic models for prediction of long-term compressive strength of silica fume concrete // *Advances in Engineering Software*. 2009. V. 40. № 9. P. 856-863.
- 4 Sun L., Yu W.Y., Ge Q. Experimental research on the self-healing performance of micro-cracks in concrete bridge // *Advanced Materials Research*. 2011. V. 250. P. 28-32.
- 5 Jing Z., Jin F., Hashida T., Yamasaki N. et al. Influence of tobermorite formation on mechanical properties of hydrothermally solidified blast furnace slag // *Journal of Materials Science*. 2008. V. 43. № 7. P. 2356-2361.
- 6 Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика: изд. 2-е, перераб. и доп. М., 1998. 768 с.
- 7 Ahmedzade P., Yilmaz M. Effect of polyester resin additive on the properties of asphalt binders and mixtures // *Construction and Building Materials*. 2008. V. 22. № 4. P. 481-486.
- 8 Изотов В.С., Соколова Ю.А. Химические добавки для модификации бетона. М.: Палеотип, 2006. 244 с.
- 9 Ikotun B.D., Ekelu S. Strength and durability effect of modified zeolite additive on concrete properties // *Construction and Building Materials*. 2010. V. 24. № 5. P. 749-757.
- 10 Касторных Л.И. Добавки в бетоны и строительные растворы: учеб.-справ. пособие. 2-е изд. Ростов н/Д: Феникс, 2007. 221 с.
- 11 Зоткин А.Г. Бетоны с эффективными добавками. М.: Инфра-Инженерия, 2014. 160 с.
- 12 Sanchez-Alonso E., Vega-Zamanillo A., Castro-Fresno D., DelRio-Prat M. Evaluation of compactability and mechanical properties of bituminous mixes with warm additives // *Construction and Building Materials*. 2011. V. 25. № 5. P. 2304-2311.

- 13 Виноградова Л.А. Влияние введения суперпластификатора «ПОЛИПЛАСТ СП-3» на свойства бетона // *Стекло и керамика*. 2018. № 4. С. 39-41.
- 14 ГОСТ 31108-2003. Цементы общестроительные. Технические условия. М.: ГУП ЦПП, 2004. 22 с.
- 15 ГОСТ 8267-93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1995. 42 с.
- 16 ГОСТ 8736-2014. Песок для строительных работ. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2015. 8 с.
- 17 ТУ 5775-001-94089809-2007. Добавки для бетонов и растворов «БЕСТ». Технические условия.
- 18 ГОСТ 310.3-76. Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема (с Изменением № 1). М.: Изд-во Стандартов, 1976. 6 с.
- 19 ГОСТ 10060-2012. Бетоны. Методы определения морозостойкости (с поправкой). М.: Стандартинформ, 2014. 16 с.

REFERENCES

- 1 Bazhenov Yu.M. *Tekhnologiya betona [Concrete Technology]*. Moscow, Publishing House ASV, 2002. 500 p. (in Russian).
- 2 Vinogradova L.A., Katargina V.K., Kopolov I.A. *Osnovy tekhnologii zhelezobetonnykh izdelij [Fundamentals of technology of reinforced concrete products]*. Ivanovo, Ivanovo State Chemical Technical University, 2016. 227 p. (in Russian).
- 3 Özcan F., Karahan O., Atis C.D., Uncuoglu E. et al. Comparison of artificial neural network and fuzzy logic models for prediction of long-term compressive strength of silica fume concrete. *Advances in Engineering Software*. 2009. vol. 40. no. 9. pp. 856-863.
- 4 Sun L., Yu W.Y., Ge Q. Experimental research on the self-healing performance of micro-cracks in concrete bridge. *Advanced Materials Research*. 2011. vol. 250. pp. 28-32.
- 5 Jing Z., Jin F., Hashida T., Yamasaki N. et al. Influence of tobermorite formation on mechanical properties of hydrothermally solidified blast furnace slag // *Journal of Materials Science*. 2008. vol. 43. no. 7. pp. 2356-2361.

6 Batrakov V.G. Modificirovannye betony. Teoriya i praktika [Modified concretes. Theory and practice]. Moscow, 1998. 768 p. (in Russian).

7 Ahmedzade P., Yilmaz M. Effect of polyester resin additive on the properties of asphalt binders and mixtures. Construction and building materials. 2008. vol. 22. no 4. pp. 481-486.

8 Izotov V.S., Sokolova Yu.A. Himicheskie dobavki dlya modifikacii betona [Chemical additives for concrete modification]. M.: Paleotip, 2006. 244 p. (in Russian).

9 Ikotun B.D., Ekelu S. Strength and durability effect of modified zeolite additive on concrete properties. Construction and Building Materials. 2010. vol. 24. no. 5. pp. 749-757.

10 Kastornyh L.I. Dobavki v betony i stroitel'nye rastvory [Additives in concrete and mortar]. Rostov on Don, Feniks, 2007. 221 p. (in Russian).

11 Zotkin A.G. Betony s ehffektivnymi dobavkami [Concrete with effective additives]. Moscow, Infra-Inzheneriya, 2014. 160 p. (in Russian).

12 Sanchez-Alonso E., Vega-Zamanillo A., Castro-Fresno D., DelRio-Prat M. Evaluation of compactability and mechanical properties of bituminous mixes with warm additives. Construction and Building Materials. 2011. vol. 25. no. 5. pp. 2304-2311.

13 Vinogradova L.A. The effect of the introduction of the POLYPLAST SP 3 superplasticizer on the properties of concrete. *Steklo i keramika* [Glass and ceramics]. 2018. no. 4. pp. 39–41. (in Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Любовь А. Виноградова к.х.н., доцент, кафедра технологии керамики и наноматериалов, Ивановский государственный химико-технологический университет, пр-т Шереметевский, 7, г. Иваново, 153000, Россия, lavinogradova@ya.ru

Юлия Н. Грачева студент, кафедра Технологии керамики и наноматериалов, Ивановский государственный химико-технологический университет, пр-т Шереметевский, 7, г. Иваново, 153000, Россия, lafigleam@ya.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Любовь А. Виноградова организовала производственные испытания, написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и консультация в ходе исследования

Юлия Н. Грачева осуществила обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела эксперимент и несёт ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 05.09.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 06.11.2018

15 GOST 31108-2003. Cementy obshchestroitel'nye. Tekhnicheskie usloviya [Cements general construction. Technical conditions]. Moscow, GUP CPP, 2004. 22 p. (in Russian).

16 GOST 8267-93. Shcheben' i gravij iz plotnyh gornyh porod dlya stroitel'nyh rabot. Tekhnicheskie usloviya [Crushed stone and gravel from dense rocks for construction works. Technical conditions]. Moscow, Standards publishing house, 1995. 42 p. (in Russian).

17 GOST 8736-2014. Pesok dlya stroitel'nyh rabot. Tekhnicheskie usloviya [Sand for construction work. Technical conditions]. Moscow, Standartinform, 2015. 8 p. (in Russian).

18 TU 5775-001-94089809-2007. Dobavki dlya betonov i rastvorov «BEST». Tekhnicheskie usloviya [Additives for concrete and solutions "BEST". Technical conditions.]. (in Russian).

19 GOST 310.3-76. Cementy. Metody opredeleniya normal'noj gustoty, srokov skhvatyvaniya i ravnomernosti izmeneniya ob'ema (s Izmeneniem № 1) [Cements. Methods for determining the normal density, setting time and uniformity of volume change (with Change No. 1)]. Moscow, Standards publishing house, 1976. 6 p. (in Russian).

20 GOST 10060-2012. Betony. Metody opredeleniya morozostojkosti (s popravkoj) [Concretes. Methods for determining frost resistance (with correction)]. Moscow, Standartinform, 2014. 16 p. (in Russian).

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Lyubov A. Vinogradova Cand. Sci. (Chem.), associate professor, ceramics and nanomaterials technology department, Ivanovo state University of chemistry and technology, Sheremetevsky Av., 7, Ivanovo, 153000, Russia, lavinogradova@ya.ru

Julia N. Gracheva student, ceramics and nanomaterials technology department, Ivanovo state University of chemistry and technology, Sheremetevsky Av., 7, Ivanovo, 153000, Russia, lafigleam@ya.ru

CONTRIBUTION

Lyubov A. Vinogradova organized production trials, wrote the manuscript, correct it before filing in editing and consultation during the study

Julia N. Gracheva made a review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment and is responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 9.5.2018

ACCEPTED 11.6.2018