

## ИК-спектры суперпластификатора СП–2ВУ и цементного раствора с добавкой

Любовь А. Виноградова<sup>1</sup>      lavinogradova@ya.ru  
Юлия П. Русакова<sup>1</sup>              snegjinka@bk.ru

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

**Аннотация.** Для совершенствования свойств бетона применяют различные технологические приемы, наиболее доступным из которых является введение в бетонную смесь химических добавок, позволяющие 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 по изучению влияния введения суперпластификатора со стабилизирующим эффектом «Полипласт СП–2ВУ» ООО «Полипласт Новомосковск» в бетон с помощью анализа ИК–спектров добавки в чистом виде и в составе затвердевшего цементного раствора (0,1–0,9%). В качестве вяжущего вещества в бетонной смеси использовали портландцемент марки ЦЕМ I 42,5 Б ОАО «Мордовцемент», 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%. В ходе работы проанализирован химический состав самой добавки СП2-ВУ и в составе затвердевшего модифицированного бетона. Так, введение модификатора в бетонную композицию приводит к изменению ее структуры и прочностных характеристик. Установлено с помощью ИК-спектров, что при содержании добавки в цементном растворе в количестве 0,5% формируется более упорядоченная и стабильная затвердевшая структура. Достоверность полученных данных подтверждается идентификацией основных пиков. За счет модифицирования бетона (при 0,3-0,5% концентрации регулятора в бетонной смеси) прирост прочности образцов составляет более 40%.

**Ключевые слова:** ИК-спектры; суперпластификаторы; добавка СП2 ВУ; цементные растворы; добавки в бетоны; модифицирование бетонов; технология бетона; свойства бетонов

## Infrared spectra of SP–2VU superplasticizing agent and a cement mortar with additive

Lyubov A. Vinogradova<sup>1</sup>      lavinogradova@ya.ru  
Yuliya P. Rusakova<sup>1</sup>              snegjinka@bk.ru

<sup>1</sup> Ivanovo state University of chemistry and technology, Sheremetevsky av., 7, Ivanovo, 153000, Russia

**Abstract.** To improve the concrete properties, various technological methods are used, the most accessible ones being the introduction of chemical additives into the concrete mixture, which can significantly reduce the costs level per unit of production; these additives improve concrete quality and effectiveness and reinforced concrete structures as well as increase their service life and buildings and structures in whole. This paper presents the results of studying the effect of introducing a superplasticizer with stabilizing effect of Polyplast SP – 2VU LLC Polyplast Novomoskovsk into concrete by analyzing the IR spectra of the additive in pure form and as part of hardened cement mortar (0.1–0.9%). Portland cement CEM I 42.5 B of Mordovcement OJSC was used as a binder; the aggregates were enriched with quartz sand from the Khromtsovsky deposit with a size of 2.4 and granite crushed stone of the Orsk deposit of 5–20 mm with water absorption of 0.2%. In the course of the work, the chemical composition of the additive SP2-VU itself and the hardened modified concrete composition were analyzed. Thus, the introduction of a modifier into a concrete composition leads to the change in its structure and strength characteristics. It was established with the help of IR spectra, that when the content of the additive in the cement mortar is 0.5%, a more ordered and stable hardened structure is formed. The reliability of the data obtained is confirmed by the identification of the main peaks. Due to the modification of concrete (at 0.3-0.5% in the concrete mix regulator concentration), the increase in the strength of the samples is more than 40%.

**Keywords:** infrared spectra; superplasticizing agents; additive SP2 VU; cement mortars; concrete additives, concrete manufacturing technology, concrete modification, concrete properties, research on frost resistance

### Введение

На сегодняшний день бетон является одним из наиболее распространенных строительных материалов, применяемых практически во всех отраслях строительства.

Для повышения эффективности, качества и долговечности бетона, а также совершенствования его свойств применяют различные

технологические приемы, наиболее доступным из которых является введение в бетонную смесь химических добавок [1–6]. 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].

Для цитирования  
Виноградова Л.А., Русакова Ю.П. ИК-спектры суперпластификатора СП–2ВУ и цементного раствора с добавкой // Вестник ВГУИТ. 2019. Т. 81. № 1. С. 289–293. doi:10.20914/2310-1202-2019-1-289-293

For citation  
Vinogradova L.A., Rusakova Yu.P. Infrared spectra of SP–2VU superplasticizing agent and a cement mortar with additive. *Vestnik VGUET* [Proceedings of VSUET]. 2019. vol. 81. no. 1. pp. 289–293. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2019-1-289-293

Проведенные ранее исследования [13] показали, что введение в бетонную смесь суперпластификатора «ПОЛИПЛАСТ СП-3» (производитель ОАО «Полипласт») позволяет регулировать строительно-технические свойства в разных направлениях. Так, содержание 0,5–1,0% регулятора в составе композиции приводит к ускорению скорости схватывания смеси за счет пептизирующего действия добавки. При этом выявлено оптимальное содержание модификатора, способствующее набору необходимой скорости структурообразования системы и формированию прочных структур твердения с определенными эксплуатационными характеристиками. Так, при введении в бетонную смесь 0,5% суперпластификатора СП-3 наблюдается прирост прочности образцов на 22%.

Еще одним представителем группы суперпластификаторов является добавка Полипласт СП-2ВУ, представляющая собой смесь нейтрализованных едким натром полимерных соединений с различной средней молекулярной массой и шириной молекулярно-массового распределения.

**Цель работы** – изучить влияние введения суперпластификатора СП-2ВУ в бетон в чистом виде и в составе затвердевшего цементного раствора (0,1–0,9%) с помощью анализа ИК-спектров.

#### Материалы и методы

В качестве вяжущего вещества в бетонной смеси использовали портландцемент марки ЦЕМ I 42,5 Б ОАО «Мордовцемент», 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 суперпластификатор со стабилизирующим эффектом для бетонов и растворов «Полипласта СП-2ВУ» (СП-2ВУ), который выпускает ООО «Полипласт Новомосковск» в форме водного раствора коричневого цвета по ТУ 5745–015–58042865–2006 [17].

Анализ ИК-спектроскопии материала осуществляли с помощью прибора Avatar 360-FT-IR (фирма «Nicolet») в области 500–4000  $cm^{-1}$ .

Регулирование свойств бетона введением добавки оценивали по пределу прочности при сжатии бетонной композиции в 3-, 7- и 28-суточном возрасте в соответствии с ГОСТ 310.3–76 [18]. 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 СП-2ВУ Additive SP-2VU	–	0,30

Введение добавки СП-2ВУ осуществляли в виде водного раствора с массовым содержанием 0,1–0,9% от массы цемента, при этом она вводится 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.

#### Результаты и обсуждение

Проанализирован химический состав добавки в чистом виде и в составе затвердевшего цементного раствора с помощью ИК-спектроскопии. Полученные ИК-спектры СП-2ВУ представлены на рисунке 1.

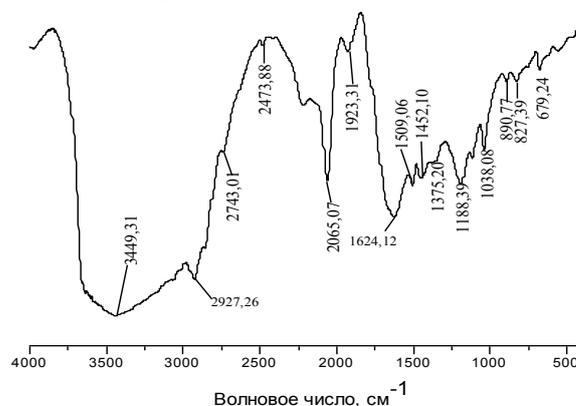


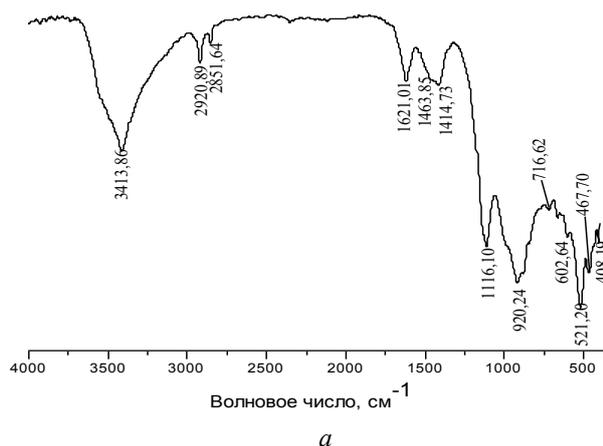
Рисунок 1. ИК-спектр водного раствора Полипласт СП-2ВУ

Figure 1. IR spectrum of an aqueous solution of Polyplast SP-2VU

В связи с тем что добавка взята в виде водного раствора, для нее характерна очень широкая полоса в области 3100–3650  $cm^{-1}$ , в которой поглощают ОН-группы, соединенные водородными связями. Присутствует полоса ~1600  $cm^{-1}$ , свойственная свободной воде. При 2927  $cm^{-1}$  поглощают метиленовые группы –  $CH_2-CH_2$  –. Умеренно интенсивные колебания метиленовых мостиков наблюдаются и в области 680–900  $cm^{-1}$ . Заметные полосы соответствуют группам –C–OH (1512, 1452  $cm^{-1}$ ), –C=O (перегиб при 1785  $cm^{-1}$ ), –C–O–C– (1188, 1038  $cm^{-1}$ ).

При  $2230\text{ см}^{-1}$  обнаруживается полоса, предположительно отвечающая колебаниям акрилонитрильной группы –  $\text{C}\equiv\text{N}$ , и компонент сложной полосы ( $1667\text{ см}^{-1}$ ) – для амидной группы. Можно отметить полосы  $\sim 1300$  и  $\sim 1100\text{ см}^{-1}$ , свойственные валентным колебаниям сульфогруппы.

В ходе работы были изучены ИК-спектры цементного раствора с регулятором с концентрацией 0,1 и 0,5% (рисунок 2). Спектры



цементного раствора с добавкой содержат в основном полосы поглощения, характерные для гидратированных клинкерных минералов. Это полосы валентных колебаний  $-\text{Si}-\text{O}$ -связей, присутствующих в изолированных ( $900-950\text{ см}^{-1}$ ) и в связанных ( $1100-1200, 833\text{ см}^{-1}$ ) кремний-кислородных тетраэдрах, алюмокислородных октаэдрах ( $707-718, 592\text{ см}^{-1}$ ). Достоверность полученных данных подтверждается идентификацией основных пиков.

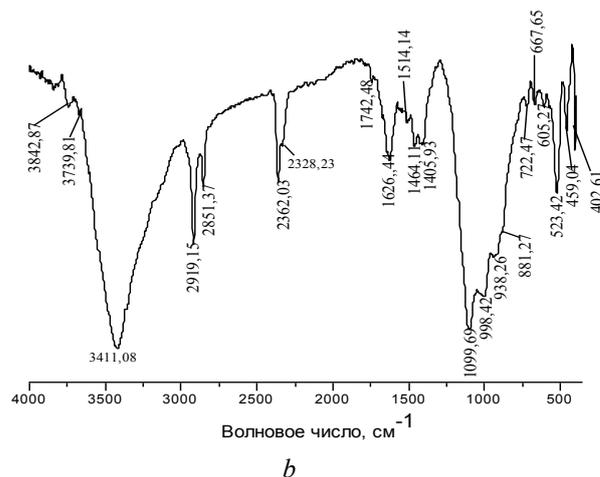


Рисунок 2. ИК-спектр цементных растворов с добавкой СП-2ВУ. Концентрация добавки, масс. %: *a* – 0,1; *b* – 0,5  
 Figure 2. The IR spectrum of cement mortars with the addition of SP-2VU. The concentration of the additive, wt. %: *a* – 0.1; *b* – 0.5

При малом содержании добавки (рисунок 2, *a*) полосы имеют нечеткие очертания, что свидетельствует о недостаточно упорядоченной структуре новообразований.

Основные различия спектров (рисунок 2) заключаются в характере полос, соответствующих валентным колебаниям протона относительно кислорода в гидратированных соединениях (области  $3100-3700$  и  $2100-2920\text{ см}^{-1}$ ).

Первая полоса в спектре на рисунке 2, *a* является сложной, состоящей из компонентов для преимущественно мономерных ( $\sim 3640\text{ см}^{-1}$ ), димерных ( $\sim 3500\text{ см}^{-1}$ ) и полимерных ( $\sim 3390\text{ см}^{-1}$ ) ОН-групп, тогда как в спектре на рисунке 2, *b* данная полоса отвечает колебаниям полимерных гидроксидов.

Поглощение при  $2850$  и  $2920\text{ см}^{-1}$  в последнем случае также более выражено. Полосы для комбинации деформационных и крутильных колебаний  $\text{H}_2\text{O}$  ( $2100-2300\text{ см}^{-1}$ ) в спектре на рисунке 2, *a* практически не наблюдаются (в отличие от рисунка, *b*). Полоса  $1621-1626\text{ см}^{-1}$  для межслоевой воды также более дифференцирована (рисунок 2, *b*). ИК-спектры подтверждают формирование более упорядоченной и стабильной структуры при введении СП2-ВУ в количестве 0,5% (рисунок 3), объясняя повышенную (в этом

случае) прочность цементного камня. Тогда как с увеличением содержания добавки в бетонной смеси наблюдается некоторое снижение набора прочности бетона.

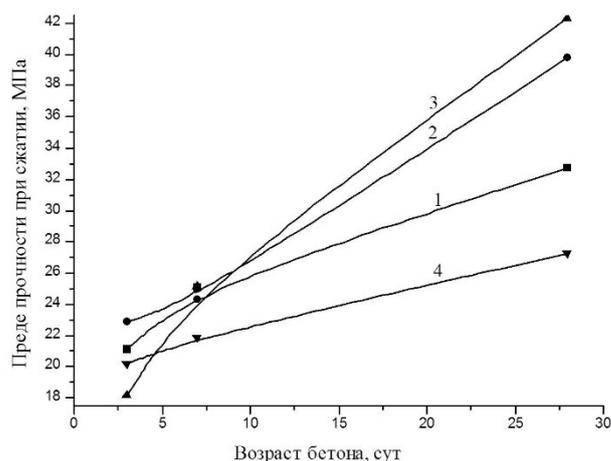


Рисунок 3. Зависимость предела прочности при сжатии от возраста бетона с добавкой СП-2ВУ. Концентрация добавки, %: 1 – 0; 2 – 0,1; 3 – 0,3; 4 – 0,5; 5 – 0,8

Figure 3. Dependence of compressive strength on the age of concrete with the addition of SP-2VU. Concentration of the additive, %: 1 – 0; 2 – 0.1; 3 – 0.3; 4 – 0.5; 5 – 0.8

### Заключение

Таким образом, изучение ИК–спектров суперпласфикатора СП-2ВУ показало, что введение добавки в бетон приводит к изменению структуры и прочностных характеристик бетонной композиции. Так, выявлено формирование более упорядоченной и стабильной структуры при введении СП-2ВУ в количестве 0,5%, объясняя повышенную (в этом случае) прочность цементного камня. За счет модифицирования

бетона прирост прочности образцов составляет более 40%.

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 всей конструкции.

### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Баженов Ю.М. Технология бетона: учебник. М.: Издательство АСВ, 2002. 500 с.
- 2 Виноградова Л.А., Катаргина В.К., Копосов И.А. Основы технологии железобетонных изделий: учеб. пособие. Иваново, 2016. 227 с.
- 3 Bazhenov Y., Alimov L., Voronin V. Concrete composites of double structure formation // Theoretical Foundation of Civil Engineering: in MATEC Web of Conferences. 2017. doi: 10.1051/mateconf/201711700015
- 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. 250–253. P. 28–32. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.250-253.28
- 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. doi: 10.1007/s10853-007-2025-8
- 6 Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика: 2-е изд., 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., Ekolu 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. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2010.11.024
- 13 Vinogradova L.A. Effect of introducing poliplast sp-3 superplasticizer on the properties of concrete // Glass and ceramics. 2018. V. 75. № 3–4. P. 160–162.
- 14 ГОСТ 31108–2003. Цементы общестроительные. Технические условия. Введен 09.01.2004. М.: ГУП ЦПП, 2004. 22 с.

15 ГОСТ 8267–93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия. Введен 01.01.1995. М.: Изд-во стандартов, 1995. 42 с.

16 ГОСТ 8736–2014. Песок для строительных работ. Технические условия. Введен 01.04.2015. М.: Стандартинформ, 2015. 8 с.

17 ТУ 5745–015–58042865–2006. Добавки для бетонов и растворов «СП-2ВУ». Технические условия. Введен 31. 03.2006.

18 ГОСТ 3103–76. Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема (с Изменением № 1). Введен 01.01.1978. М.: Изд-во Стандартов, 1976. 6 с.

### REFERENCES

- 1 Bazhenov Yu.M. Tekhnologiya betona [Concrete technology: textbook]. Moscow, ASV, 2002. 500 p. (in Russian).
- 2 Vinogradova L.A., Katargina V.K., Koposov I.A. Osnovy tekhnologii zhelezobetonnyh izdelij [Fundamentals of technology of reinforced concrete products: study guide]. Ivanovo, 2016. 227 p. (in Russian).
- 3 Bazhenov Y., Alimov L., Voronin V. Concrete composites of double structure formation. Theoretical Foundation of Civil Engineering: in MATEC Web of Conferences. 2017. doi: 10.1051/mateconf/201711700015
- 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. 250–253. pp. 28–32. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.250-253.28
- 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. doi: 10.1007/s10853-007-2025-8
- 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. Khimicheskiye dobavki dlya modifikatsii betona [Chemical additives for concrete modification]. Moscow, Paleotip, 2006. 244 p. (in Russian).
- 9 Ikotun B.D., Ekolu 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: a training manual]. Rostov on Don, Feniks, 2007. 221 p. (in Russian).

11 Zotkin A.G. Betony s effektivnymi 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. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2010.11.024

13 Vinogradova L.A. Effect of introducing poliplast sp-3 superplasticizer on the properties of concrete. *Glass and ceramics*. 2018. vol. 75. no. 3–4. pp. 160–162.

14 GOST 31108–2003. Cementy obshchestroitel'nye. Tekhnicheskie usloviya [State Standard 31108–2003. Cements general construction. Technical conditions]. Moscow, GUP CPP, 2004. 22 p. (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 П. Русакова** студент, кафедра Технологии керамики и наноматериалов, Ивановский государственный химико-технологический университет, пр-т Шереметевский, 7, г. Иваново, 153000, Россия, snegjinka@bk.ru

#### КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

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

**Юлия П. Русакова** обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела эксперимент и несёт ответственность за плагиат

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 14.01.2019

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 17.02.2019

15 GOST 8267–93. Shcheben' i gravij iz plotnyh gornyh porod dlya stroitel'nyh работ. Tekhnicheskie usloviya [State Standard 8267–93. Crushed stone and gravel from dense rocks for construction work. Technical conditions]. Moscow, Izd-vo standartov, 1995. 42 p. (in Russian).

16 GOST 8736–2014. Pesok dlya stroitel'nyh работ. Tekhnicheskie usloviya [State Standard 8736–2014. Sand for construction work. Technical conditions]. Moscow, Standartinform, 2015. 8 p. (in Russian).

17 TU 5745–015–58042865–2006. Dobavki dlya betonov i rastvorov “SP 2VU”. Tekhnicheskie usloviya [Specifications 5745–015–58042865–2006. Additives for concrete and mortars “SP 2VU”. Technical conditions]. (in Russian).

18 GOST 310.3–76. Cementy. Metody opredeleniya normal'noj gustoty, srokov skhvatyvaniya i ravnomernosti izmeneniya ob"ema (s Izmeneniem № 1) [State Standard 310.3–76. Cements. Methods for determining the normal density, setting time and uniformity of volume change (with Change No. 1)]. Moscow, Izd-vo Standartov, 1976. 6 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

**Yuliya P. Rusakova** student, ceramics and nanomaterials technology department, Ivanovo state University of chemistry and technology, Sheremetevsky Av., 7, Ivanovo, 153000, Russia, snegjinka@bk.ru

#### CONTRIBUTION

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

**Yuliya P. Rusakova** 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 1.14.2019

ACCEPTED 2.17.2019