

Известия вузов. Строительство. 2022. № 7. С. 59–67.

ISSN 0536-1052

News of Higher Educational Institutions. Construction. 2022; (7): 59–67.

ISSN 0536-1052

Научная статья

УДК 691.54:53

DOI: 10.32683/0536-1052-2022-763-7-59-67

НАНОПОРОШОК И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ

**Рамзан Магомедович Абдуллаев, Абухан Магомедович Абдуллаев,
Магомед Абдул-Вахабович Абдуллаев**

Комплексный научно-исследовательский институт им. Х.И. Ибрагимова
Российской академии наук (КНИИ РАН), Грозный, Россия

Аннотация. Установлено, что порошок Полисорб-энтеросорбент имеет наноразмерные частицы. Микрофотографии, полученные на растровом электронном микроскопе, показывают, что имеются агломераты, состоящие из наночастиц, размеры которых зафиксированы от 73 до 131 нм. Опытные образцы суспензий, полученные на глицериновой жидкости с помощью лазерного анализатора частиц Horiba LB-550, также подтверждают наличие наночастиц, размеры которых от 25 до 120 нм, а средний размер равен 56 нм. Экспериментально энергодисперсионным анализатором изучен химический состав наночастиц настоящей добавки. Анализ двух участков с разной площадью показал, что на 97,7 % частицы Полисорба состоят из чистого SiO_2 , что присуще нанодисперсному кремнезему. Прочностные свойства в результате применения добавки Полисорба в отдельности и в комплексе с гиперпластификатором Frem Giper S-TB сравнительно высоки, отличаются от контрольных составов на 19 и 84 % соответственно. Полученные экспериментальные значения указывают на возможность использования настоящей комплексной добавки в производстве высококачественных композиционных строительных материалов.

Ключевые слова: наночастицы, полисорб, цементный камень, прочность

Для цитирования: Абдуллаев Р.М., Абдуллаев А.М., Абдуллаев М. А.-В. Нанопорошок и его влияние на физико-механические свойства цементного камня // Известия вузов. Строительство. 2022. № 7. С. 59–67. DOI: 10.32683/0536-1052-2022-763-7-59-67.

Original article

NANOPOWDER AND ITS EFFECT ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF CEMENT STONE

Ramzan M. Abdullaev, Abukhan M. Abdullaev, Magomed A.-V. Abdullaev
Kh. Ibragimov Complex Institute of the Russian Academy of Sciences (CI RAS),
Grozny, Russia

Abstract. It has been established that the Polysorb-enterosorbent powder has nanosized particles. Micrographs obtained on a scanning electron microscope show that there are agglomerates consisting of nanoparticles, the sizes of which are fixed from 73 to 131 nm. Experimental samples of suspensions obtained on glycerin liquid using a Horiba

LB-550 laser particle analyzer also confirm the presence of nanoparticles, the sizes of which are from 25 to 120 nm, and the average size is 56 nm. The chemical composition of the nanoparticles of this additive was experimentally studied using an energy-dispersive analyzer. An analysis of two sections with different areas showed that 97.7 % of the Polysorb particles consist of pure SiO₂, what is inherent in nanodisperse silica. The strength properties as a result of the use of the Polysorb additive alone and in combination with the Frem Giper S-TB hyperplasticizer are relatively high, differing from the control compositions by 19 and 84 %, respectively. The obtained experimental values indicate the possibility of using this complex additive in the production of high-quality composite building materials.

Keywords: nanoparticles, polysorb, cement stone, strength

For citation: Abdullaev R.M., Abdullaev A.M., Abdullaev M. A.-V. Nanopowder and its effect on physical and mechanical properties of cement stone. *News of Higher Educational Institutions. Construction.* 2022; (7): 59–67. (In Russ.). DOI: 10.32683/0536-1052-2022-7-59-67.

1. Введение. Благодаря конструкционным и функциональным свойствам, характерным для нано- и ультрадисперсных материалов в строительстве и других сферах, к ним обусловлен значимый интерес, связанный с отличием от крупнозернистых аналогов. Многие их физико-химические, термодинамические и поверхностные свойства отличаются от свойств частиц, размеры которых больше микрона.

Оптимизация размеров и формы наночастиц, при использовании их в виде модификаторов, может привести к изменению ряда важнейших свойств таких хорошо известных строительных материалов, как цемент, цементный камень и бетон, а также открыть новые области для их применения. Кроме того, важную роль занимают исследования по получению стабильности разрабатываемых наночастиц в целях длительного хранения и транспортировки с сохранением заданных свойств [1]. Существуют различные способы повышения сохранности свойств наноразмерных частиц, которые являются неотъемлемой частью при создании наноматериалов [2, 3].

В работах [4–12] представлены результаты использования наночастиц SiO₂ в получении цементобетонных смесей, где наиболее важную роль отводят реологии и гидратационным процессам, происходящим в системе цемент–вода в присутствии этих частиц. В частности, показано, что введение наночастиц SiO₂ сокращает сроки схватывания цементного теста ввиду увеличения объема C–S–H-геля, что приводит к интенсификации процессов твердения и улучшению механических характеристик цементного камня. Введение наночастиц оказывает влияние на формирование портландита Ca(OH)₂, при котором сокращается объемное количество его новообразований, обычно появляющихся в межконтактной зоне [4, 5]. Также повышенный интерес современной науки к наночастицам кремния основывается на их способности излучать свет в видимом диапазоне при облучении ультрафиолетом [1–3, 13–17]. Основные методы получения пористого нанокремния – лазерная абляция, плазмохимический синтез и анодное электрохимическое травление.

В работах, посвященных получению наночастиц и применению их на практике, трудно найти методику и определенный способ, при которых возможно рациональное использование этих добавок, частицы в большинстве

Таблица 1. Основные свойства цемента

Table 1. Main properties of cement

Завод-изготовитель и марка	Удельная поверхность, м ² /кг	НГ, %	Плотность, кг/м ³	Сроки схватывания, ч-мин		Активность, МПа, 28 сут	
				начало	конец	сжатие	изгиб
Чеченцемент ЦЕМ I 42,5Н	330	25	3100	2-15	3-40	52,6	6,2

случаев нельзя напрямую использовать в прикладных целях для выполнения определенной задачи.

Целью настоящих исследований является порошок Полисорб-энтеросорбент (Полисорб) для изучения его размерных характеристик и дальнейшего применения в качестве добавки в цементный камень.

2. Методы и материалы исследования. В представленной работе использованы ультрадисперсный нанопорошок кремния Полисорб, глицериновая жидкость для определения размеров частиц порошка. Для проведения экспериментальных исследований применялся портландцемент АО «Чеченцемент» ЦЕМ I 42,5Н как основное вяжущее. Свойства цемента приведены в табл. 1.

Гиперпластификатор Белорусского производства Frem Giper S-TB на основе поликарбоксилатных эфиров соединяли с водой затворения в различных дозировках, по подвижности марка бетонной смеси оставалась постоянной П4 [18, 19]. При комплексном использовании добавок Frem Giper S-TB вводили в воду затворения, после этого добавляли заранее взвешенное количество нанопорошка Полисорб. Таким образом, приготавливали цементно-песчаный раствор. Из исследованных компонентов получали бетонную смесь с осадком конуса от 16 до 20 см, что соответствует марке по подвижности П4. Для определения прочностных характеристик цементного камня изготавливались образцы балочки 4×4×16 см по ГОСТ 30744–2001 на стандартном полифракционном песке по требованиям ГОСТ 6139–03.

3. Результаты и обсуждение. Микрофотографии нанопорошка были получены с помощью электронного микроскопа Quanta 3D 200i. Так как данный порошок очень плохо держится на поверхности и имеет низкую массу, на специальном столике для микроскопа углеродным скотчем закрепляли металлическую гайку. Затем мелкими порциями, утрамбовывая стеклянной палочкой, набирали слой частиц порошка необходимой толщины, чтобы при сдувании слабозакрепившиеся зерна не слетали в камеру микроскопа и чтобы при химическом анализе сканирующий луч микроскопа не пробивал образец, а также для точности получаемых данных.

На снимках (рис. 1) видно, что при разных увеличениях порошок имеет наноразмерные частицы, также есть агломераты различной величины, которые видны на микрофотографии благодаря специальной функции электронного микроскопа. Средний размер наночастиц находится в пределах 10–50 нм.

Для определения наноразмерности исследуемого порошка на лазерном анализаторе частиц в стакан объемом 100 мл заливали 50 мл глицерина. В данный объем жидкости вводили 5 мг порошка Полисорб. Стакан с глицерином и порошком ставили на предварительно подогретую магнитную

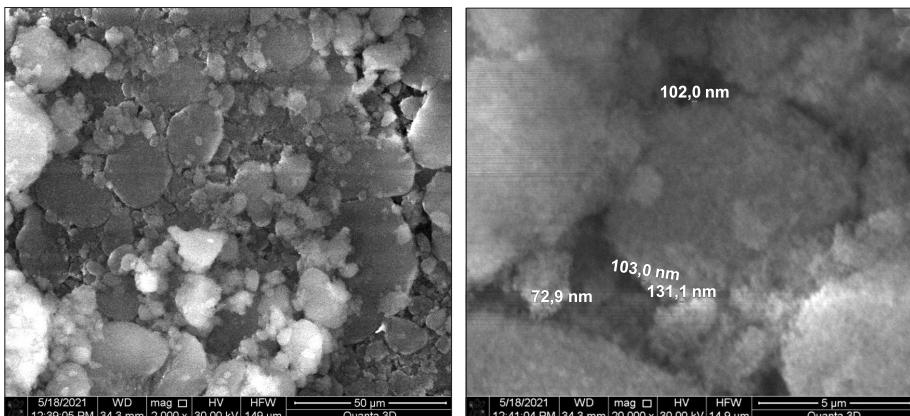


Рис. 1. Микрофотографии наночастиц Полисорба с обозначением размеров частиц от 73 до 131 нм

Fig. 1. Micrographs of Polysorb nanoparticles with particle sizes from 73 to 131 nm

мешалку ПЭ-6110 и поднимали температуру жидкости до 60 °С при работающей мешалке. Внесенный Полисорб вначале имел коагулировавшиеся зерна размерами 0,5–1 мм. Под действием перемешивания при температуре 60 °С эти частицы разваливались на не видимые глазом мелкие частицы и распределялись по объему жидкости, присутствие которых указывает свечение Тиндаля. Полученную таким образом суспензию глицерина с наночастицами помещали в кювету прибора. Радиусы наночастиц, полученных в данном коллоидном растворе, определяли методом фотонной корреляционной спектроскопии на приборе Horiba LB-550 (Япония).

Гистограмма распределения наночастиц Полисорба (рис. 2) показывает, что размер частиц колеблется от 25 до 120 нм. Средний размер наночастиц составил 56 нм. Очевидно, этот результат является дополнением и подтверждением опытных данных, полученных с помощью растрового электронного микроскопа. Авторами настоящей работы проведены исследования химического состава порошка Полисорб (табл. 2). В ходе эксперимента проанализировано два разных участка нанопорошка (рис. 3). Участок 1 имеет частицы округлой формы, границы которых довольно четко отображаются на снимке.

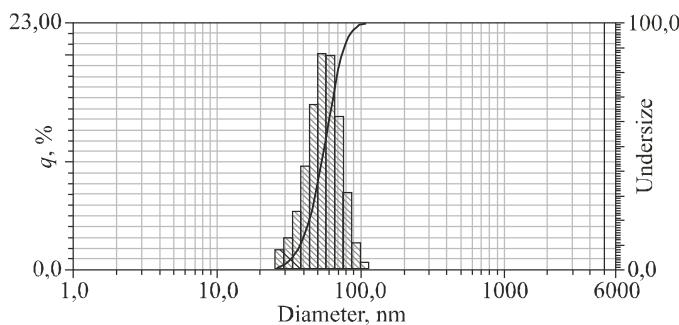


Рис. 2. Гистограмма распределения размеров наночастиц SiO₂ в глицерине. Средний размер частиц 56 нм

Fig. 2. Histogram of size distribution of SiO₂ nanoparticles in glycerin. The average particle size is 56 nm

Таблица 2. Химический состав порошка Полисорб

Table 2. Chemical composition of Polysorb powder

Оксиды	Участок 1	Участок 2
Al ₂ O ₃	0,35	1,01
SiO ₂	98,5	97,7
CaO	0,3	0,6
Fe ₂ O ₃	0,86	0,7

Участок 2 – анализ полного снимка с разными частицами, взятый для сравнения.

На обоих участках содержание оксидов практически одинаково. Количество SiO₂ составляет основную часть и достигает 98 % от всего объема. По своему химическому составу и гранулометрии можно констатировать, что порошку Полисорб присущ термин нанодисперсного кремнезема. Нанодисперсный кремнезем, как известно [11], широко используется для улучшения характеристик резиновых изделий, бумажной продукции, красок и других компонентов разного рода промышленности. Таким образом, порошок Полисорб, состоящий из наночастиц SiO₂, может являться компонентом для применения в производстве и модификации широкого спектра материалов и изделий, в том числе для улучшения качества цементобетонных композиций.

В целях установления влияния добавки Полисорба на прочностные свойства цементного камня были проведены исследования, представленные в табл. 3. Объектами исследований послужили стандартные образцы из равноподвижных цементно-песчаных растворов по ГОСТ 30744–2001 на заполнителе из стандартного полифракционного песка.

Согласно данным табл. 3, образцы на основе добавки Полисорба имеют практически одинаковую по сравнению с бездобавочным образцом водопотребность (выше на 0,2 %). При использовании Frem Giper S-TB и Полисорба в комплексе водопотребность образцов отличается от значений контрольного состава на 25 %. Такие изменения, вероятно, могут привести к более высоким показателям плотности и прочности получаемого цементного камня. Кроме того, эти образцы отличаются еще и более высокими показателями прочности. Прочность на сжатие цементного камня на основе Полисорба через 1 и 28 сут твердения в нормальных условиях выше значений контрольных образцов на 41 и 19 % соответственно. Прочность на изгиб при этом также отличается соответственно на 46 и 10 %. При комплексном использовании Полисорба и гиперпластификатора Frem Giper S-TB достигнуты сравнительно более высокие показатели прочности, что коррелируется с изменениями в водопотребности этих составов. Цементный камень на основе комплексного использования настоящих добавок имеет прочность, на 283 % превышающую на первые сутки твердения и на 84 % после 28 сут. Прочность на

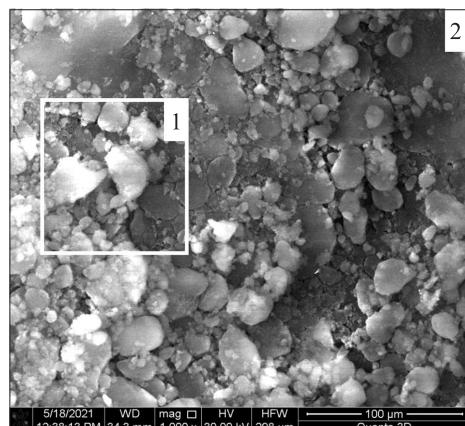


Рис. 3. Микрофотография наночастиц Полисорба с выделенными участками для химического анализа

Fig. 3. Micrograph of Polysorb nanoparticles with selected areas for chemical analysis

Таблица 3. Прочностные свойства цементного камня

Table 3. Strength properties of cement stone

Цемент, г	Песок, г	Вода, г	Frem Giper S-TB, мас. % от цемента	Полисорб-энтеросорбент, мас. % от цемента	Прочность, МПа, сжатие изгиб	
					1 сут	28 сут
450	1350	225			<u>3,59</u> 1,15	<u>30,12</u> 5,24
450	1350	173	0,5		<u>9,87</u> 3,19	<u>41,52</u> 5,69
450	1350	170,5	0,6		<u>11,29</u> 3,42	<u>46,89</u> 6,08
450	1350	168	0,7		<u>10,15</u> 3,26	<u>45,14</u> 5,29
450	1350	225		0,05	<u>3,95</u> 1,54	<u>34,72</u> 5,46
450	1350	225,5		0,1	<u>4,16</u> 1,63	<u>35,97</u> 5,78
450	1350	225,5		0,15	<u>4,04</u> 1,59	<u>33,81</u> 5,52
450	1350	168	0,6	0,1	<u>13,78</u> 3,52	<u>55,52</u> 6,15

изгиб при этом отличается от контрольных составов после 1 и 28 сут нормального твердения на 206 и 17 % соответственно. Отметим, что введение небольшого количества Frem Giper S-TB в комплексе с наночастицами Полисорба повышает пластичность смеси, тогда как в присутствии одного Полисорба водопотребность смеси увеличивается, обуславливая необходимость использования пластификаторов. Такие результаты показывают, что комплексная добавка, состоящая из гиперпластификатора Frem Giper S-TB и наночастиц Полисорба, имеет большую эффективность и может применяться в производстве композиционных материалов при получении высококачественных бетонных композитов.

4. Выводы. Полученными микрофотографиями и гистограммой установлена наноразмерность добавки Полисорба. Химический состав порошка соответствует чистому SiO_2 . Прочностные свойства цементного камня в результате применения добавки Полисорб в отдельности и в комплексе с гиперпластификатором Frem Giper S-TB значительно выше и отличаются от контрольных составов на 19 и 84 % соответственно. Полученные экспериментальные данные указывают на возможность использования настоящей комплексной добавки, состоящей из Полисорба и Frem Giper S-TB в производстве высококачественных композиционных строительных материалов.

Список источников

- Chao Y. Optical properties of nanostructured silicon // Comprehensive Nanoscience and Technology. 2011. Vol. 1. P. 543–570.

2. Nayfeh M.H., Mitas L. Silicon nanoparticles: New photonic and electronic material at the transition between solid and molecule // Nanosilicon. 2008. P. 1–78.
3. Gupta A., Wiggers H. Surface chemistry and photoluminescence property of functionalized silicon nanoparticles // Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures. 2009. Vol. 41, no. 6. P. 1010–1014.
4. Королев Е.В. Оценка концентрации первичных наноматериалов для модифицирования строительных композитов // Стройт. материалы. 2014. № 6. С. 31–35.
5. Флорес-Вивиан И., Прадото Р., Моини М., Кожухова М.И., Потапов В.В., Соболев К.Г. Влияние SiO₂-наночастиц на свойства цементных материалов // Вестн. БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. № 11. С. 6–16.
6. Flores-Vivian I., Pradoto R.G.K., Moini M., Kozhukhova M., Potapov V., Sobolev K. The effect of SiO₂-nanoparticles derived from hydrothermal solutions on the performance of portland cement based materials // Frontiers of Structural and Civil Engineering. 2017. Vol. 11, no. 4. P. 436–445.
7. Потапов В.В., Горев Д.С., Туманов А.В., Кащутин А.Н., Горева Т.С. Получение комплексной добавки для повышения прочности бетона на основе нанодисперсного диоксида кремния гидротермальных растворов // Фундам. исслед. 2012. № 9-2. С. 404–409.
8. Горев Д.С., Потапов В.В., Горева Т.С., Портнягин Н.Н. Повышение характеристик бетонов вводом наночастиц SiO₂ // Современные наукоемкие технологии. 2018. № 7. С. 26–30.
9. Строцкий В.Н., Гордеева Е.В., Васькин В.М., Шитиков Е.С., Федоров Е.В. Исследование физико-механических свойств высокопрочного бетона с добавкой микрокремнезема и ультрадисперсной углеродной добавкой с наночастицами размером 10–50 нм // Науч. тр. ОАО ЦНИИС. М.: Изд-во ОАО ЦНИИС, 2008. С. 33–40.
10. Кузьмина В.П. Нанодиоксид кремния. Применение в строительстве // Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал. 2011. С. 69–109.
11. Гуриченко Н.С., Батяновский Э.И. Полифункциональная добавка с ультрадисперсным микрокремнеземом для цементного бетона // Проблемы современного бетона и железобетона: Сб. науч. тр. / Ин-т БелНИИС. Минск, 2018. Вып. 10. С. 135–154.
12. Пивинский Ю.Е., Белецкая Е.А., Дороганов В.А., Шаповалова Л.Н. Композиционные материалы на основе кремнистых вяжущих супензий: Тез. докл. М., 1995. С. 32–33.
13. Byoung-Jung Choi, Jung-Hui Lee, Kiyoshi Yatsui, Sung-Chae Yang. Preparation of silicon nanoparticles for device of photoluminescence // Surface and Coatings Technology. 2007. Vol. 201, no. 9–11. P. 5003–5006.
14. Peter L.M., Riley D.J., Snow P.A. Potential induced tuning of the luminescence of porous silicon: A simultaneous study of electroluminescence and photoluminescence emission // Electrochemistry Communications. 2000. Vol. 2, no. 7. P. 461–465.
15. Toshiharu Makino, Yuka Yamada, Nobuyasu Suzuki, Takehito Yoshida, Seinosuke Onari. Electroluminescence of monodispersed silicon nanocrystallites synthesized by pulsed laser ablation in inert background gas // Applied Surface Science. 2002. Vol. 197–198. P. 594–597.
16. Seto T., Hirasawa M., Aya N., Suzuki N., Yoshida T., Kawakami Y., Ozawa E. Synthesis of size-selected silicon nanoparticles by laser ablation // Journal of Aerosol Science. 2000. Vol. 31, no. 1. P. 628–629.
17. Dian J., Macek A., Ni Ňanský D., Němec I., Vrkoslav V., Chvojka T., Jelínek I. SEM and HRTEM study of porous silicon – relationship between fabrication, morphology and optical properties // Applied Surface Science. 2004. Vol. 238, no. 1–4. P. 169–174.

18. Каприлов С.С. Модифицированные высокопрочные бетоны классов В80 и В90 в монолитных конструкциях. Ч. II // Стройт. материалы. 2008. № 3. С. 9–13.
19. Tironi A., Scian A.N., Irassar E.F. Hydration of ternary cements elaborated with limestone filler and calcinedkaolinic clay // Proceedings XIV International Congress on the Chemistry of cement. Beijing, China, 2015. 320 p.

References

1. Chao Y. Optical properties of nanostructured silicon. *Comprehensive Nanoscience and Technology*. 2011; 1: 543–570.
2. Nayfeh M.H., Mitas L. Silicon nanoparticles: New photonic and electronic material at the transition between solid and molecule. *Nanosilicon*. 2008. P. 1–78.
3. Gupta A., Wiggers H. Surface chemistry and photoluminescence property of functionalized silicon nanoparticles. *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*. 2009; 41(6): 1010–1014.
4. Korolev E.V. Assessment of the concentration of primary nanomaterials for modifying building composites. *Stroitel'nyye materialy = Building Materials*. 2014; (6): 31–35. (In Russ.).
5. Flores-Vivian I., Pradoto R., Moini M., Kozhukhova M.I., Potapov V.V., Sobolev K.G. The effect of SiO₂-nanoparticles on the properties of cement materials. *Vestnik BG TU im. V.G. Shukhova = Bulletin of V.G. Shukhov BSTU*. 2018; (11): 6–16. (In Russ.).
6. Flores-Vivian I., Pradoto R.G.K., Moini M., Kozhukhova M., Potapov V., Sobolev K. The effect of SiO₂-nanoparticles derived from hydrothermal solutions on the performance of portland cement based materials. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*. 2017; 11(4): 436–445.
7. Potapov V.V., Gorev D.S., Tumanov A.V., Kashutin A.N., Goreva T.S. Preparation of a complex additive to increase the strength of concrete based on nanodispersed silicon dioxide of hydrothermal solutions. *Fundamental'nyye issledovaniya = Fundamental Research*. 2012; (9-2): 404–409. (In Russ.).
8. Gorev D.S., Potapov V.V., Goreva T.S., Portnyagin N.N. Improving the characteristics of concrete by introducing SiO₂-nanoparticles. *Sovremennyye naukoemkiye tekhnologii = Modern high-tech technologies*. 2018; (7): 26–30. (In Russ.).
9. Strotksiy V.N., Gordeyeva E.V., Vas'kin V.M., Shitikov E.S., Fedorov E.V. Investigation of the physico-mechanical properties of high-strength concrete with the addition of microsilicon and an ultrafine carbon additive with nanoparticles 10–50 nm in size. Scientific works of JSC TSNIIS. Moscow, 2008. P. 33–40. (In Russ.).
10. Kuz'mina V.P. Silicon dioxide. Application in construction. *Nanotekhnologii v stroitel'stve: nauchnyy Internet-zhurnal = Nanotechnology in construction: scientific online magazine*. 2011. P. 69–109. (In Russ.).
11. Gurinenko N.S., Batyanovskiy E.I. Multifunctional additive with ultrafine silica for cement concrete. Problems of modern concrete and reinforced concrete: Collection of scientific papers. Minsk, 2018. Issue. 10. P. 135–154. (In Russ.).
12. Pivinskiy Yu.E., Beletskaya E.A., Doroganov V.A., Shapovalova L.N. Composite materials based on siliceous binder suspensions: Abstracts. Moscow, 1995. P. 32–33. (In Russ.).
13. Byoung-Jung Choi, Jung-Hui Lee, Kiyoshi Yatsui, Sung-Chae Yang. Preparation of silicon nanoparticles for device of photoluminescence. *Surface and Coatings Technology*. 2007; 201(9–11): 5003–5006.
14. Peter L.M., Riley D.J., Snow P.A. Potential induced tuning of the luminescence of porous silicon: A simultaneous study of electroluminescence and photoluminescence emission. *Electrochemistry Communications*. 2000; 2(7): 461–465.

15. Toshiharu Makino, Yuka Yamada, Nobuyasu Suzuki, Takehito Yoshida, Seinosuke Onari. Electroluminescence of monodispersed silicon nanocrystallites synthesized by pulsed laser ablation in inert background gas. *Applied Surface Science*. 2002; 197–198: 594–597.
16. Seto T., Hirasawa M., Aya N., Suzuki N., Yoshida T., Kawakami Y., Ozawa E. Synthesis of size-selected silicon nanoparticles by laser ablation. *Journal of Aerosol Science*. 2000; 31(1): 628–629.
17. Dian J., Macek A., Ni Ňanský D., Němec I., Vrkoslav V., Chvojka T., Jelínek I. SEM and HRTEM study of porous silicon – relationship between fabrication, morphology and optical properties. *Applied Surface Science*. 2004; 238(1–4): 169–174.
18. Kapriyelov S.S. Modified high-strength concretes of classes B80 and B90 in monolithic structures. *Stroitel'nyye materialy = Building Materials*. 2008; (3): 9–13. (In Russ.).
19. Tironi A., Scian A.N., Irassar E.F. Hydration of ternary cements elaborated with limestone filler and calcined kaolinitic clay. Proceedings XIV International Congress on the Chemistry of cement. Beijing, China, 2015. 320 p.

Информация об авторах

Р.М. Абдуллаев – аспирант, ramzan007abd@mail.ru

А.М. Абдуллаев – аспирант, han-100@mail.ru

М. А.-В. Абдуллаев – аспирант, mgdaa@mail.ru

Information about the authors

R.M. Abdullaev – Post-graduate Student, ramzan007abd@mail.ru

A.M. Abdullaev – Post-graduate Student, han-100@mail.ru

M. A.-V. Abdullaev – Post-graduate Student, mgdaa@mail.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 20.05.2022

Одобрена после рецензирования 20.06.2022

Принята к публикации 27.06.2022

The article was submitted 20.05.2022

Approved after reviewing 20.06.2022

Accepted for publication 27.06.2022