

УДК 691.33

DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-3-195-206

*Р.С. ФЕДЮК, А.В. БАРАНОВ, Д.В. ХРОМЕНОК,  
И.Р. ЗЕЛЕНСКИЙ, С.В. КИМ,  
Дальневосточный федеральный университет*

## **УПЛОТНЕНИЕ СТРУКТУРЫ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ В БЕТОНЕ ЗА СЧЕТ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННОГО ВЯЖУЩЕГО**

Целью исследования являлось управление структурообразованием цементного камня с целью повышения его прочностных характеристик. Для этого был оптимизирован состав композиционных вяжущих, содержащих портландцемент ЦЕМ I 42,5Н (58–70 %), активную кремнеземсодержащую добавку (25–37 %), кварцевый песок (2,5–7,5 %) и отходы дробления известняка (2,5–7,5 %), также выявлена оптимальная технология его механохимической активации.

Представлены результаты оптимизации процессов структурообразования разработанного композита за счет использования полиминерального модификатора, измельченного совместно с портландцементом в вариопланетарной мельнице до удельной поверхности 550 м<sup>2</sup>/кг. Аморфная фаза диоксида кремния в составе модификатора интенсифицирует связывание гидроксида кальция, образующегося в ходе гидратации алита, способствует росту низкоосновных гидросиликатов кальция и уменьшению основности цементного камня, одновременно сокращая количество портландита. Кристаллическая фаза диоксида кремния в форме β-кварца играет роль центров кристаллизации новообразований, уплотняющих микроструктуру цементного камня. Частицы известняка способствуют образованию гидрокарбоалюминатов кальция, а также вместе с тонкомолотым кварцевым песком выступают в роли микрозаполнителя, коагулируя поры цементного камня.

**Ключевые слова:** цементный камень; композиционное вяжущее; нанодисперсная добавка; зола рисовой шелухи; пуццолановые материалы; механические свойства.

**Для цитирования:** Федюк Р.С., Баранов А.В., Хроменок Д.В., Зеленский И.Р., Ким С.В. Уплотнение структуры цементного камня в бетоне за счет эффективного использования композиционного вяжущего // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 3. С. 195–206.

DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-3-195-206

*R.S. FEDIUK, A.V. BARANOV, D.V. KHROMENOK,  
I.R. ZELENSKIY, S.V. KIM,  
Far Eastern Federal University*

## **CEMENT STONE STRUCTURE COMPACTION WITH COMPOSITE BINDER**

The aim of the paper is to improve the strength properties of cement stone via control for structure formation. The composite binder composition includes the type CEM I 42.5N (58–70%) Portland cement, active silica additive (25–37%), quartz sand (2.5–7.5%) and limestone crushed waste (2.5–7.5%). The optimum technology of mechanochemical activation is proposed for the cement stone.

The optimization of the structure formation process is provided by the mineral-mineral modifier, crushed together with Portland cement in a planetary mill to a specific surface of

550 m<sup>2</sup>/kg. The amorphous phase of silicon dioxide in the composition of the modifier intensifies the calcium hydroxide binding forming during alite hydration. It contributes to the growth in low-basic calcium silicate and lowers the cement stone basicity, while reducing the amount of portlandite. The crystalline phase of  $\beta$ -quartz silicon dioxide plays the role of crystallization centers new formations and the cement stone microstructure compaction. Limestone particles contribute to the formation of calcium hydrocarbonate and act as a microfiller together with fine ground quartz sand clogging the pores in the cement stone.

**Keywords:** cement stone; composite binder; nanodisperse additive; rice husk ash; pozzolanic materials; mechanical properties.

**For citation:** Fediuk R.S., Baranov A.V., Khromenok D.V., Zelenskiy I.R., Kim S.V. Uplotnenie struktury tsementnogo kamnya v betone za schet effektivnogo ispol'zovaniya kompozitsionnogo vyazhushchego [Cement stone structure compaction with composite binder]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2019. V. 21. No. 3. Pp. 195–206. DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-3-195-206

### Введение

Эффективные бетоны для защитных сооружений в связи с ростом числа природных (включая глобальное изменение климата) и техногенных (в том числе возросшей международной напряженности и террористических актов) катастроф в настоящее время приобретают особое значение. Для этих бетонов необходим специальный набор характеристик: предел статической прочности при сжатии и растяжении, ударная вязкость (динамическая прочность), трещиностойкость, непроницаемость и удобоукладываемость [1, 2]. Разработка материалов, которые могут обеспечить комплекс этих характеристик на заданном уровне, возможна только с использованием новейших достижений в области материаловедения и управления процессами структурообразования с использованием многокомпонентных систем. В то же время забота о жизни и здоровье человека с точки зрения системы «человек – материал – среда обитания» должна приниматься во внимание даже на стадии проектирования. Снижение потребления клинкерного сырья и энергоемкости производственных материалов, а также переработка промышленных отходов являются важными шагами на этом пути [3–5].

Разработка различных защитных бетонов (радиационно-защитных, термостойких, ударопрочных, непроницаемых, биозащитных и т. д.) была достаточно подробно проведена и изучена ранее [6–11]. В предыдущих исследованиях были разработаны теоретические основы создания композиционных вяжущих (КВ) с использованием различных пуццолановых добавок, а также кремнеземсодержащих компонентов [11–14]. Однако вопрос использования новых типов сверхтонких минеральных добавок, а также принципов их совместимости для обеспечения требуемых эксплуатационных характеристик КВ недостаточно изучен. Необходимо разработать композиты нового поколения, которые характеризуются особым набором требуемых высоких показателей физико-механических свойств, одним из способов достижения которых является создание высокоплотной микроструктуры цементного камня.

Кроме того, при проектировании композитов необходимо стремиться к их экономической и экологической эффективности. Это может быть достиг-

нито путем применения отходов производства (техногенного сырья) и местных материалов. Большие перспективы в этом направлении открывает применение в качестве кремнеземсодержащего компонента отходов растениеводства, в частности, термически обработанной рисовой шелухи [15, 16]. Также в ряде работ отмечается возможность управления структурообразованием цементного камня за счет применения отходов камнедробления карбонатных и кварцевых пород [17, 18].

Таким образом, в статье выдвигается рабочая гипотеза о возможности создания высокопрочного цементного композита путем управления процессами структурообразования в результате использования полиминеральных систем отходов производства и местных материалов Приморского края.

Цель исследования: управление структурообразованием цементного камня с целью повышения его прочностных характеристик.

Для достижения этой цели были решены следующие задачи:

- изучить состав, структуру и качественные характеристики исходных материалов;
- обосновать возможности использования полиминерального модификатора в качестве компонента связующих систем;
- разработать композиционные вяжущие на основе портландцемента и полиминеральной добавки; подобрать оптимальный состав и параметры изготовления КВ с учетом обеспечения повышенных физико-механических свойств;
- определить экспериментально физико-механические свойства образцов цементного камня на разработанных композиционных вяжущих.

### Материалы и методы исследования

Учитывая тот факт, что Приморский край, как и другие регионы РФ, имеет посевные площади риса, была рассмотрена технология производства аморфной кремнеземсодержащей добавки (АКД) в вяжущее, которая включает термическую обработку рисовой шелухи (с агропредприятий, расположенных на юге Дальнего Востока) в муфельной печи при температуре 800–900 °С в течение 2 ч. Выбор этой технологии обусловлен получением как аморфной, так и кристаллической фаз АКД. Образец состоит из частиц размером до 100 мкм, поверхность которых повторяет рельеф плодовой оболочки (рис. 1).

В табл. 1 представлен химический состав рисовой шелухи и порошка АКД (с содержанием оксида кремния почти 95 %).

Кристаллическая фаза диоксида кремния в форме β-кварца, который будет играть роль центров кристаллизации новообразований и повышать непроницаемость твердеющего композита (рис. 2).

Аморфная фаза диоксида кремния будет связывать  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , выделяющийся при гидратации алита, в гидросиликаты второй генерации.

Помимо АКД и портландцемента ЦЕМ I 42,5Н, в состав КВ были включены отходы дробления известняка (ОДИ) и кварцевый песок (КП) (табл. 2).

Исследования по измельчению композиционного вяжущего проводили на различных типах помольных агрегатов (лабораторная шаровая мельница ШЛМ-1, измельчитель лабораторный вибродвижной ИВ-4 и вариопланетар-

ная мельница Pulverisette-4). Установлено, что только измельчение в вариопланетарной мельнице позволяет достичь необходимой тонкости помола ( $550 \text{ м}^2/\text{кг}$ ). Измельчение проводили в течение 70 мин, осуществляя контрольные измерения поверхности измельчаемого материала каждые 10 мин.

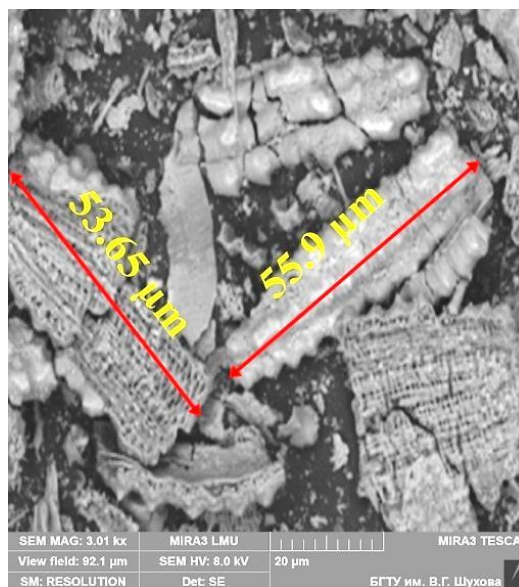


Рис. 1. Микроструктура активной кремнеземсодержащей добавки

Таблица 1

**Химический состав рисовой шелухи и АКД на ее основе, %**

Материал	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	п. п. п.
Шелуха	0,61	15,64	0,24	0,12	0,45	0,18	0,48	0,28	82,1
АКД	0,56	94,58	0,22	0,11	0,23	0,05	0,27	0,26	3,72

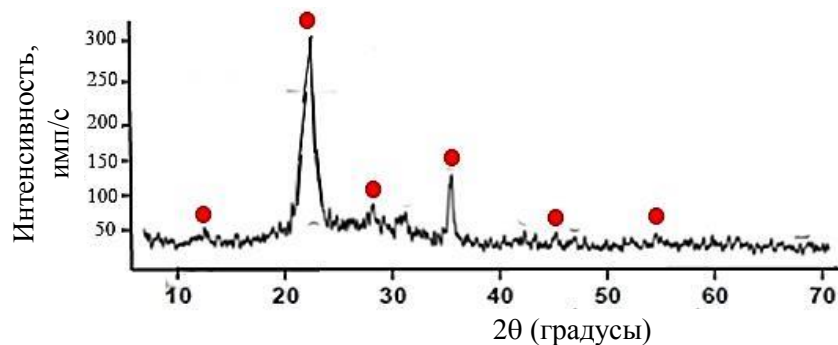


Рис. 2. Рентгенограмма активной кремнеземсодержащей добавки (отмечены пики, соответствующие β-кварцу)

Таблица 2

## Химический состав портландцемента, ОДИ и КП, %

Сырье	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	п. п. п.
ЦЕМ I 42,5 Н	68,2	20,9	6,00	3,51	1,41	2,32	0,21	0,64	–	1,54
ОДИ	44,2	7,49	3,33	0,24	2,57	–	–	–	0,24	38,7
КП	0,01	99,4	0,25	0,12	–	–	–	0,03	0,07	–

Также помол КВ в вариопланетарной мельнице способствует образованию электроакцепторных центров в частицах, что, очевидно, будет положительно сказываться на нормальной густоте цементного теста.

В исследовании, на основе обзора литературы, была разработана широкая номенклатура составов КВ (табл. 3).

Таблица 3

## Разработанные составы композиционного вяжущего

№ состава	Состав КВ, %				Водо- вяжущее отношение	Нормальная густота, %
	ЦЕМ I	КП	ОДИ	АКД		
ЦЕМ I	100	–	–	–	0,4	25,9
КВ1-1	61	3,5	3,5	32	0,4	26,3
КВ1-2	62	3,5	3,5	31	0,4	25,6
КВ1-3	63	3,5	3,5	30	0,4	26,3
КВ2-1	57,5	5,25	5,25	32	0,4	24,7
КВ2-2	58,5	5,25	5,25	31	0,4	24,5
КВ2-3	59,5	5,25	5,25	30	0,4	24,8
КВ3-1	54	7	7	32	0,4	25,0
КВ3-2	55	7	7	31	0,4	26,1
КВ3-3	56	7	7	30	0,4	25,6

Нормальная густота цементного теста (КВ) определялась на ротационном вискозиметре RheoStress 600 (Haake Technik GmbH). Исследование реологических параметров смесей с использованием вискозиметра проводилось через 5 мин после перемешивания.

## Обсуждение полученных результатов

На рис. 3 приведены полученные значения предела прочности на сжатие цементного камня в возрасте 28 сут для разработанных составов КВ.

Выявлено, что наилучшие прочностные характеристики были показаны составом КВ 2-2 (71,21 МПа), что на 62,25 % выше, чем у контрольного состава (ЦЕМ I).

Это также подтверждается сравнением результатов дифференциального термического анализа цементного камня без добавок и цементного камня КВ 2-2 (рис. 4).

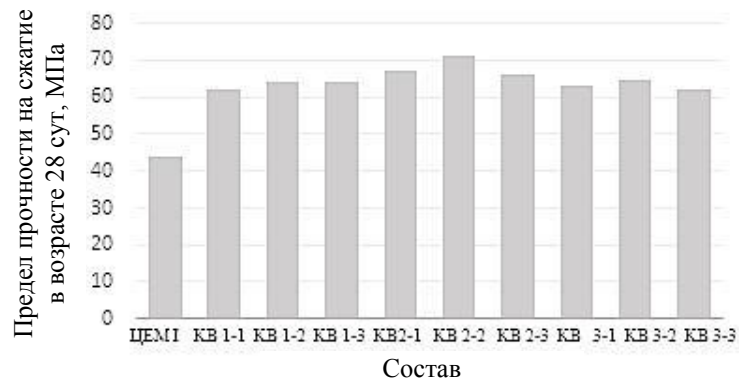


Рис. 3. Предел прочности на сжатие в возрасте 28 сут для разработанных составов

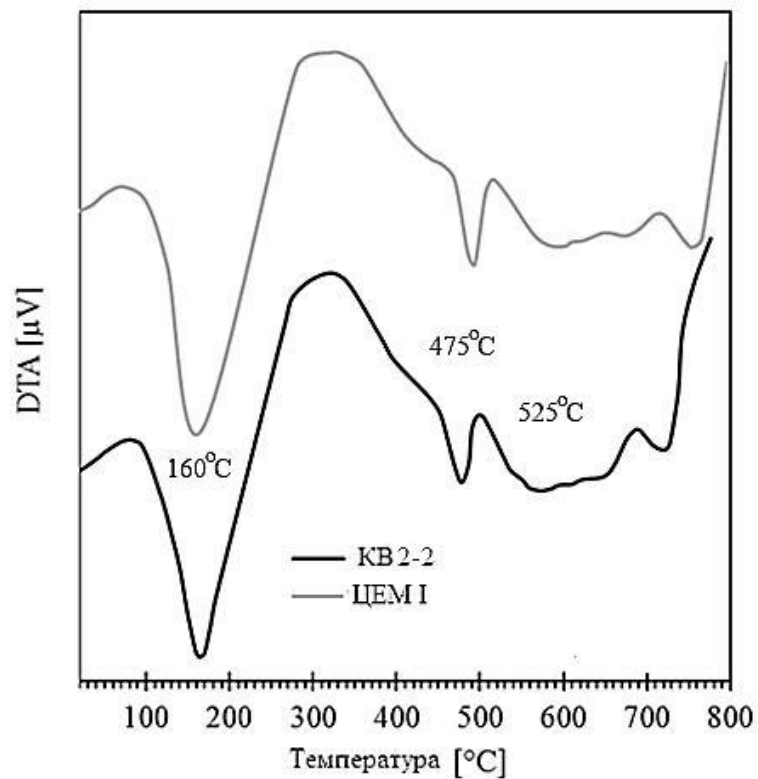


Рис. 4. Результаты ДТА цементного камня в возрасте 28 сут (оптимальный состав KB 2-2 и контрольный ЦЕМ I)

В частности, уменьшение площади эндотермического эффекта (при температуре около 160 °С) цементного камня KB 2-2 показывает снижение содержания гелеобразных новообразований в результате их перехода в кристаллическое состояние. С другой стороны, рост площади пика на термограмме контрольного образца ЦЕМ I показывает большее содержание портландита

в его составе. Эндотермический эффект при температуре 475 °С соответствует дегидратации гидроксида кальция. Последний эндотермический эффект (525–650 °С), вероятно, связан с диссоциацией  $\text{CaCO}_3$ .

Высокие прочностные свойства разработанного композита КВ 2-2 обеспечиваются тем, что, в отличие от контрольного цементного камня (рис. 5, а, в), цементно-композиционный камень имеет структуру с пониженным содержанием пустот и микротрещин, при этом хорошо видны системы игольчатых и пластинчатых новообразований, которые заполняют изометрические и анизометрические поры (рис. 5, б, г). Это приводит к образованию жесткой матрицы с пониженной пористостью и, соответственно, к упрочнению цементного камня.

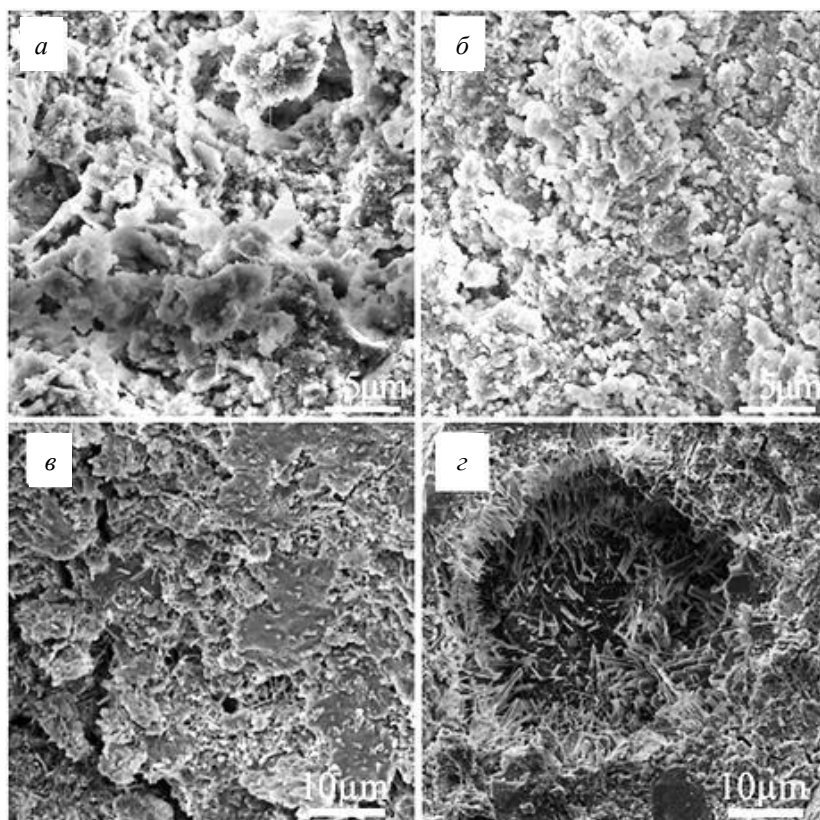


Рис. 5. Микроструктура цементного камня в возрасте 28 сут: оптимальный состав КВ 2-2 (б, г) и контрольный ЦЕМ I (а, в)

Это также подтверждается составом новообразований: для КВ 2-2 (рис. б) отмечается пониженная интенсивность пиков, соответствующих минералам клинкера: алита с  $d/n = 3,04; 2,97; 2,78; 2,74; 2,75; 2,61; 2,18; 1,77 \text{ \AA}$  и белита с  $d/n = 2,89; 2,67; 2,72; 2,76; 2,75; 2,78; 1,77 \text{ \AA}$ , что свидетельствует об интенсификации процессов гидратации при использовании КВ. Кроме того, композиционное вяжущее способствует снижению интенсивности пиков портландита с  $d/n = 4,93; 2,63; 1,93 \text{ \AA}$ .

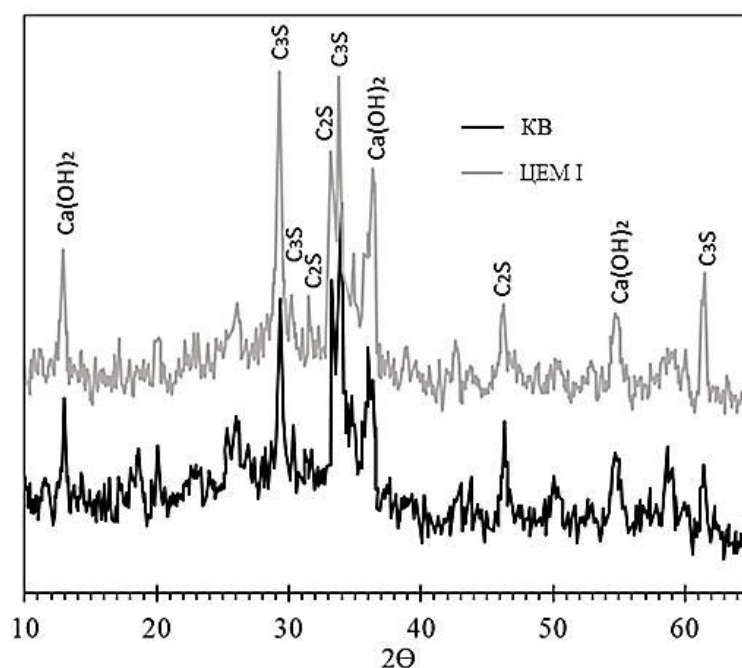


Рис. 6. Результаты РФА цементного камня в возрасте 28 сут (оптимальный состав KB 2-2 и контрольный ЦЕМ I)

Таким образом, были разработаны теоретические положения синтеза композиционного вяжущего, заключающиеся в оптимизации процессов структурообразования путем использования полиминерального модификатора вместе с портландцементом, измельченным в вариопланетарной мельнице до удельной поверхности  $550 \text{ м}^2/\text{кг}$ . Аморфная фаза диоксида кремния в составе модификатора интенсифицирует связывание гидроксида кальция, образующегося в ходе гидратации алита, способствует росту низкоосновных гидросиликатов кальция и уменьшению основности цементного камня, одновременно сокращая количество портландита. Кристаллическая фаза диоксида кремния в форме  $\beta$ -кварца играет роль центров кристаллизации новообразований, уплотняющих микроструктуру цементного камня. Частицы известняка способствуют образованию гидрокарбоалюминатов кальция, а также вместе с тонкомолотым кварцевым песком выступают в роли микронаполнителя, коагулируя поры цементного камня.

### Заклучение

В результате исследования управления структурообразованием цементного камня с целью повышения его прочностных характеристик выявлено следующее:

1. Установлен характер влияния композиционного вяжущего на структурообразование композита. Аморфная фаза диоксида кремния в составе модификатора интенсифицирует связывание гидроксида кальция, образующегося в ходе гидратации алита, способствует росту низкоосновных гидросиликатов кальция



и уменьшению основности цементного камня, одновременно сокращая количество портландита. Кристаллическая фаза диоксида кремния в форме  $\beta$ -кварца играет роль центров кристаллизации новообразований, уплотняющих микроструктуру цементного камня. Частички известняка способствуют образованию гидрокарбоалюминатов кальция, а также вместе с тонкомолотым кварцевым песком выступают в роли микронаполнителя, кольматируя поры цементного камня.

2. Выявлено, что использование композиционного вяжущего, состоящего из 58,5 % портландцемента, 31 % активной кремнеземсодержащей добавки, 5,25 % кварцевого песка и 5,25 % известняка, совместно измельченного до удельной поверхности  $550 \text{ м}^2/\text{кг}$ , оптимизирует микроструктуру композита при увеличении его статического предела прочности при сжатии более чем на 60 %.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Fediuk R.S., Yevdokimova Y.G., Smoliakov A.K., Stoyushko N.Y., Lesovik V.S.* Use of geonics scientific positions for designing of building composites for protective (fortification) structures // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. № 221 (1). P. 012011.
2. *Lesovik V.S., Urkhanova L.A., Gridchin A.M., Lkhasaranov S.A.* Composite binders on the basis of pearlite raw material of Transbaikalia // Research Journal of Applied Sciences. 2014. № 9 (12). P. 1016–1020.
3. *Чулкова И.Л.* Повышение эффективности строительных композитов с использованием техногенного сырья регулированием процессов структурообразования : автореф. дис. ... докт. техн. наук. 05.23.05. Белгород, 2011. 39 с.
4. *Дамдинжапов Б.Ц., Заяханов М.Е., Лайдабон Ч.С., Балханова Е.Д.* Модификация бетонов с использованием акустического и электромагнитного полей // Технологии бетонов. 2011. № 7–8. С. 65–66.
5. *Федюк Р.С., Смоляков А.К., Тимохин Р.А.* Строительные материалы для войсковой фортификации // XVIII Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов в г. Нерюнгри с международным участием, посвященная 25-летию со дня образования Технического института (филиала) СВФУ : материалы конференции. Секции 1–3. 2017. С. 109–113.
6. *Лесовик В.С., Федюк Р.С.* Теоретические предпосылки создания цементных композитов повышенной непроницаемости // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2016. № 1 (47). С. 65–72.
7. *Низина Т.А., Селяев В.П., Балыков А.С., Володин В.В., Коровкин Д.И.* Оптимизация составов многокомпонентных мелкозернистых фибробетонов, модифицированных на различных масштабных уровнях // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2017. Т. 9. № 2. С. 43–65.
8. *Лесовик В.С., Чулкова И.Л.* Влияние составов материалов на формирование структуры строительных композитов // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2015. № 4 (44). С. 69–79.
9. *Розина В.Е., Урханова Л.А., Лхасаранов С.А., Буянтуев С.Л.* Фибробетон с базальтовым волокном и нанокремнеземом // Современные строительные материалы, технологии и конструкции : материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию Грозненского государственного нефтяного технического университета им. академика М.Д. Миллионщикова. 2015. С. 53–57.
10. *Лесовик В.С., Чулкова И.Л.* Управление структурообразованием строительных композитов // Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия. Омск, 2011.
11. *Лукутцова Н.П., Пыкин А.А., Баранова А.А.* Высокопрочный мелкозернистый бетон с мультикомпонентным наноимпрегнатом алюмосиликатного состава // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2018. № 9. С. 6–14.
12. *Толстой А.Д., Крымова А.И., Фомина Е.В., Коробков Р.А.* Применение синергетических принципов самоорганизации системы в теории твердения строительных композитов //

- Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2018. № 9. С. 24–28.
13. Ibragimov R.A., Korolev E.V., Deberdeev R.Y., Laksin V.V., Sobolev D. Energy Parameters of the Binder during Activation in the Vortex Layer Apparatus // *Materials Science Forum*. 2019. № 945. P. 98–103.
  14. Svintsov A.P., Shambina S.L. Influence of viscosity of vegetable and mineral oil on deformation properties of concrete and cement-sand mortar // *Construction and Building Materials*. 2018. № 190. P. 964–974.
  15. Zemnukhova L.A., Panasenko A.E., Artemyanov A.P., Tsoy E.A. Dependence of porosity of amorphous silicon dioxide prepared from rice straw on plant variety // *BioResources*. 2015. № 10 (2). P. 3713–3723.
  16. Земнухова Л.А., Панасенко А.Е., Цой Е.А., Федорищева Г.А., Шапкин Н.П., Артемьянов А.П., Майоров В.Ю. Состав и строение образцов аморфного кремнезема // *Неорганические материалы*. 2014. Т. 50. № 1. С. 82–89.
  17. Логанина В.И. Обеспечение качества строительных изделий и конструкций // *Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование*. 2018. № 1 (6). С. 21–25.
  18. Косач А.Ф., Ращупкина М.А., Кузнецова И.Н., Дарулис М.А. Влияние ультрадисперсного наполнителя на основе золы гидроудаления на свойства цементного камня // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2019. Т. 21. № 1. С. 150–158.

## REFERENCES

1. Fediuk R.S., Yevdokimova Y.G., Smoliakov A.K., Stoyushko N.Y., Lesovik V.S. Use of geonics scientific positions for designing of building composites for protective (fortification) structures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2017. No. 221(1). Pp. 012011.
2. Lesovik V.S., Urkhanova L.A., Gridchin A.M., Lkhasaranov S.A. Composite binders on the basis of pearlite raw material of Transbaikalia. *Research Journal of Applied Sciences*. 2014. No. 9 (12). Pp. 1016–1020.
3. Chulkova I.L. Povyshenie jeffektivnosti stroitel'nyh kompozitov s ispol'zovaniem tehnogenogo syr'ja regulirovaniem processov strukturoobrazovaniya [Increasing the effectiveness of building composites using technogenic raw materials by structure formation control. DSc Abstract]. Belgorod, 2011. 39 p. (rus)
4. Damdinzhapov B.Ts., Zayakhanov M.E., Laydabon Ch. S., Balkhanova E.D. Modifikatsiya betonov s ispol'zovaniem akusticheskogo i elektromagnitnogo poley [Concrete modification through acoustic and electromagnetic fields]. *Tehnologii betonov*. 2011. No. 7–8. Pp. 65–66. (rus)
5. Fediuk R.S., Smoliakov A.K., Timokhin R.A. Stroitel'nye materialy dlja vojskovoj fortifikatsii [Building materials for military fortification]. In: XVIII Vserossiiskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya molodykh uchenykh, aspirantov i studentov v g. Neryungri, s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoi 25-letiyu so dnya obrazovaniya Tekhnicheskogo instituta (filiala) SVFU (*Proc. 18th All-Russ. Sci. Conf. of Students and Young Scientists dedicated to the 25th anniversary of NEFU*) 2017. Pp. 109–113. (rus)
6. Lesovik V.S., Fediuk R.S. Teoreticheskie predposylki sozdaniya cementnyh kompozitov povyshennoj nepronicayemosti [Theoretical prerequisites for creation of cement composites of increased impermeability]. *Vestnik SibADI*. 2016. No. 1. Pp. 65–72. (rus)
7. Nizina T.A., Selyaev V.P., Balykov A.S., Volodin, V.V., Korovkin, D.I. Optimizatsiya sostavov mnogokomponentnykh melkozernistykh fibrobetonov, modifitsirovannykh na razlichnykh masshtabnykh urovnyakh [Optimization of compositions of multicomponent fine-grained fiber-reinforced concrete modified at different scale levels]. *Nanotekhnologii v stroitel'stve: nauchnyy internet-journal*. 2017. V. 9. No. 2. Pp. 43–65. (rus)
8. Lesovik V.S., Chulkova I.L. Vliyanie sostavov materialov na formirovanie struktury stroitel'nyh kompozitov [The influence of materials composition on structure formation of building composites]. *Vestnik SibADI*. 2015. No. 4. Pp. 69–79. (rus)
9. Rozina V.E., Urkhanova L.A., Lhasaranov S.A., Buyantuev S.L. Fibrobeton s bazal'tovym voloknom i nanokremnezemom [Fiber concrete with basalt fiber and nanosilica]. In: *Sovremen-*

- nye stroitel'nye materialy, tekhnologii i konstruksii: materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 95-letiyu Groznenskogo gosudarstvennogo neftyanogo tekhnicheskogo universiteta im. akademika M.D. Millionshchikova (*Proc. Int. Sci. Conf. 'Construction: Materials, Technologies and Structures'*). 2015. Pp. 53–57.
10. Lesovik V.S., Chulkova I.L. Upravlenie strukturoobrazovaniem stroitel'nykh kompozitov [Control for structure formation of building composites]. Omsk, 2011. (rus)
  11. Lukutsova N.P., Pykin A.A., Baranova A.A. Vysokoprochnyy melkozemnistyy beton s multikomponentnym nanoimpregnatom alyumosilikatnogo sostava [High-strength fine-grained concrete with multicomponent nanoimpregnatom of aluminosilicate composition]. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova*. 2018. No. 9. Pp. 6–14. (rus)
  12. Tolstoy A.D., Krymova A.I., Fomina E.V., Korobkov R.A. Primeneniye sinergeticheskikh printsipov samoorganizatsii sistemy v teorii tverdeniya stroitel'nykh kompozitov [Synergistic principles of system self-organization in the theory of hardening of building composites]. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova*. 2018. No. 9. Pp. 24–28. (rus)
  13. Ibragimov R.A., Korolev E.V., Deberdeev R.Y., Leksin V.V., Sobolev D. Energy parameters of the binder during activation in the vortex layer apparatus. *Materials Science Forum*. 2019. No. 945. Pp. 98–103.
  14. Svintsov A.P., Shambina S.L. Influence of viscosity of vegetable and mineral oil on deformation properties of concrete and cement-sand mortar. *Construction and Building Materials*. 2018. No. 190. Pp. 964–974.
  15. Zemlukhova L.A., Panasenko A.E., Artemyanov A.P., Tsoy E.A. Dependence of porosity of amorphous silicon dioxide prepared from rice straw on plant variety. *BioResources*. 2015. No. 10 (2). Pp. 3713–3723.
  16. Zemlukhova L.A., Panasenko A.E., Coj E.A., Fedorishheva G.A., Shapkin N.P., Artem'janov A.P., Majorov V.Ju. Sostav i stroenie obrazcov amorfnoho kremnezema [Composition and structure of amorphous silica samples]. *Inorganic Materials*. 2014. V. 50. No. 1. Pp. 82–89. (rus)
  17. Loganina V.I. Obespecheniye kachestva stroitel'nykh izdeliy i konstruksiy [Quality assurance of building products and structures]. *Vestnik PGUAS: stroitel'stvo, nauka i obrazovaniye*. 2018. No. 1 (6). Pp. 21–25.
  18. Kosach A.F., Rashchupkina M.A., Darulis M.A., Gorchakov V.G. Issledovanie vliyaniya ul'tradispersnogo napolnitelya na osnove zoly gidroudaleniya na svoystva tsementnogo kamnya [Cement brick properties modified by ultrafine ash-based additive]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2019. V. 21. No. 1. Pp. 150–158.

#### Сведения об авторах

Федюк Роман Сергеевич, канд. техн. наук, доцент, Дальневосточный федеральный университет, 690950, г. Владивосток, ул. Суханова, 8, roman44@yandex.ru

Баранов Андрей Вячеславович, соискатель, Дальневосточный федеральный университет, 690950, г. Владивосток, ул. Суханова, 8, roman44@yandex.ru

Хроменок Даниил Владиславович, студент, Дальневосточный федеральный университет, 690950, г. Владивосток, ул. Суханова, 8, roman44@yandex.ru

Зеленский Илья Романович, студент, Дальневосточный федеральный университет, 690950, г. Владивосток, ул. Суханова, 8, roman44@yandex.ru

Ким Семен Вячеславович, студент, Дальневосточный федеральный университет, 690950, г. Владивосток, ул. Суханова, 8, roman44@yandex.ru

#### Authors Details

Roman S. Fediuk, PhD, A/Professor, Far Eastern Federal University, 8, Sukhanov Str., 690090, Vladivostok, Russia, roman44@yandex.ru

*Andrey V. Baranov*, Research Assistant, Far Eastern Federal University, 8, Sukhanov Str., 690090, Vladivostok, Russia, roman44@yandex.ru

*Daniil V. Khromenok*, Student, 8, Sukhanov Str., 690090, Vladivostok, Russia, roman44@yandex.ru

*Ilya R. Zelenskiy*, Student, Far Eastern Federal University, 8, Sukhanov Str., 690090, Vladivostok, Russia, roman44@yandex.ru

*Semyon V. Kim*, Student, Far Eastern Federal University, 8, Sukhanov Str., 690090, Vladivostok, Russia, roman44@yandex.ru