

УДК 691.542:620.179

DOI: 10.31675/1607-1859-2018-20-2-163-170

*Ю.С. САРКИСОВ, Н.П. ГОРЛЕНКО, А.В. РУБАНОВ, В.В. ВЕРГАСОВ,  
Томский государственный архитектурно-строительный университет*

## КОМБИНИРОВАННАЯ ОБРАБОТКА ЖИДКОСТИ ЗАТВОРЕНИЯ ЦЕМЕНТНЫХ СИСТЕМ

Приоритетным направлением в современном строительном материаловедении является создание таких составов и технологий цементных композиций, которые бы удовлетворяли технологической доступности и эффективности, экологической безопасности, биосовместимости, природной сбалансированности, экономической целесообразности и энерго- и ресурсосбережению.

Целью работы является изучение комбинированного воздействия на жидкость затворения ультразвука с заданной частотой и постоянного магнитного поля заданной напряженности, а также влияние модифицированной таким образом жидкости затворения на свойства цементных систем.

При выполнении исследований использовалось ультразвуковое устройство УСУ-0707, система магнитов, рентгеновский дифрактометр ДРОН-4. Для определения прочности образцов при сжатии изготавливали образцы-кубы размером  $(2 \times 2 \times 2) 10^{-2}$  м из цементно раствора при водоцементном отношении, равном 0,38.

В работе показано, что комбинированные вещественно-полевые воздействия на жидкость затворения цементных систем приводят к существенному повышению эксплуатационных характеристик цементного камня. Установлено, что прочность при сжатии цементного камня возрастает в среднем на 30–45 % по сравнению с контрольными образцами. Диспергирование водной среды ультразвуком сопровождается образованием различных короткоживущих частиц и состояний в воде, кавитационными эффектами и другими сопутствующими явлениями, которые, в свою очередь, чувствительны к воздействию магнитного поля. В результате реакционная способность воды по отношению к цементу резко возрастает, и, как следствие, наблюдается рост прочности.

**Ключевые слова:** вода; жидкость затворения; ультразвук; магнитное поле; цементные системы; прочность.

**Для цитирования:** Саркисов Ю.С., Горленко Н.П., Рубанов А.В., Вергасов В.В. Комбинированная обработка жидкости затворения цементных систем // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. Т. 20. № 2. С. 163–170.

*Yu.S. SARKISOV, N.P. GORLENKO, A.V. RUBANOV, V.V. VERGASOV,  
Tomsk State University of Architecture and Building*

## COMBINED PROCESSING OF MIXING WATER FOR CEMENT SYSTEMS

**Relevance:** The priority field in modern materials science in construction is the creation of cement compositions and technologies which will meet technological availability and efficiency, environmental safety, biocompatibility, natural balance, economic viability and energy resource conservation. **Purpose:** The aim of this work is to study a combined effect of the ultrasound and the constant magnetic field, both with predetermined frequency and intensity, and the effect of modified mixing water on the properties of cement systems. **Methodology/approach:** The experiment used an ultrasonic device USU-0707 to modify water properties, a magnetic system configuration for magnetic field processing of specimens, and DRON-4 diffractometer for the

X-ray phase analysis. In order to measure the compressive strength,  $(2 \times 2 \times 2) 10^{-2}$  m specimens were prepared from cement paste. The water/cement ratio was selected as 0.38. **Findings:** A combined processing of mixing water with the ultrasound and the constant magnetic field results in a substantial increase in service characteristics of the cement brick. In comparison with test specimens, its compressive strength increases by 30–45 %. **Research implications:** The ultrasonic dispersion of mixing water is accompanied by such processes as the formation of various short-living particles and states in water, cavitation and others which, in turn, are sensitive to the magnetic field. As a result, the reactive capacity of water in relation to cement sharply increases and, as a consequence, the growth in cement strength is observed. **Practical implications:** The proposed method of the ultrasonic and magnetic-field modification of mixing water can be readily used in the production of cement-based construction materials.

**Keywords:** water; mixing water; ultrasound; magnetic field; cement system; strength.

**For citation:** Sarkisov Y.S., Gorlenko N.P., Rubanov A.V., Vergasov V.V. Kombinirovannaya obrabotka zhidkosti zatvoreniya tsementnykh sistem [Combined processing of mixing water for cement systems]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2018. V. 20. No. 2. Pp. 163–170. (rus)

Цементы и строительные материалы различного технического назначения на их основе по-прежнему остаются одними из самых многотоннажных производств в современной строительной индустрии. Несмотря на почти 200-летнюю историю изучения цементных систем и достаточно большие успехи в выявлении особенностей термодинамики, кинетики и механизма процессов гидратации и структурообразования как в нашей стране, так и за рубежом, до сих пор многие вопросы управления свойствами цементного камня, цементно-песчаных и бетонных смесей остаются не до конца изученными.

Это в первую очередь объясняется появлением все новых и новых видов цемента, модифицирующих химических добавок, внешних воздействий на цементные системы, что значительно расширяет возможности управления физико-механическими и эксплуатационными характеристиками рассматриваемых систем как на стадии затворения цемента водой или другой жидкостью затворения, так и на стадии формирования конечной прочности системы и эксплуатации изделий в конкретной окружающей среде их применения [1].

Согласно современной универсальной парадигме строительного материаловедения и экологии, любой создаваемый материал, в том числе и на основе цементных систем, должен удовлетворять следующим критериям [2]:

- 1) технологической эффективности и доступности;
- 2) энерго- и ресурсосбережения;
- 3) экологической безопасности, природной сбалансированности, биосовместимости и биоэтики;
- 4) экономической целесообразности.

Это означает, что сырье для изготовления материала, сам материал, изделия и конструкции из него, а также возводимые здания, сооружения и их комплексы не должны противоречить предъявляемым выше требованиям и находиться в согласии между собой [3].

В последнее время в материаловедении, в том числе и в строительном, разрабатываются принципиально новые методы управления свойствами исследуемых систем на основе принципов бионики и геоники [4–6].

Новое научное направление геоника предполагает копирование природных геохимических процессов и повышение устойчивости к переменным факторам окружающей среды при создании искусственных материалов различного технического назначения. Например, при разработке составов и технологий цементных систем целесообразно учитывать геохимические принципы генезиса природных минералов типа деферрита и спуррита с целью синтеза этих минералов в процессе твердения цементного камня и изделий на его основе, применение которых предполагается в условиях, насыщенных ионами при повышенных температурах и давлениях. Надежность и работоспособность этих минералов в жестких природных условиях могут служить определенными гарантиями долговечности строительных материалов на основе цементных систем [7].

Это же касается использования в качестве модифицирующих добавок комплексов бора с хлором в присутствии щелочных металлов, а также фосфора, серы и других элементов-неметаллов [8].

В развитие идей бионики и геоники в настоящее время формируются принципы зеленого строительства и зеленого строительного материаловедения [9], с которыми неразрывно связаны принципы биоэтики [10]. Отныне принцип «не навреди» является не только медицинским, но и глобальным экологическим критерием любых рукотворных технологий.

Среди всех компонентов цементных систем наиболее доступным для направленного модифицирования свойств цементного камня по-прежнему остается жидкость затворения [11, 15]. Модифицирование свойств жидкости затворения как у нас в стране, так и за рубежом проводится самыми различными по форме, энергии и времени воздействия вещественно-полевыми методами физической, химической и биологической природы, которые принципиально отличаются друг от друга по составу и механизму влияния на нее.

Эффект ускорения кристаллизации и уменьшения размеров кристаллов, выпадающих из структурированной воды, используется и в других областях, например в строительной индустрии. Так, затворение цемента структурированной водой сокращает сроки твердения, а образующаяся мелкокристаллическая структура придает изделиям большую прочность и повышает их стойкость к агрессивным воздействиям.

До сих пор строительная индустрия является одним из самых мощных потребителей водопроводной питьевой воды и водно-солевых растворов на ее основе. Однако вода является, пожалуй, самым ценным природным минералом из всех известных на Земле. Поэтому целью современных исследований является разработка технологий частичной или полной замены воды и водно-солевых растворов в технологии цементных систем. Такие технологии известны еще с древних времен. Например, каменное литье. А с развитием современных плазменных технологий это направление становится все более актуальным. Или использование так называемых ионных жидкостей, растворяющая способность которых значительно превышает таковую для воды; или комплексные мицеллярные жидкости на основе органических спиртов, поверхностно-активных веществ при низком содержании воды или водосодержащего субстрата. Существуют также и другие методы формирования структур твердения.

Но, несмотря на значительные успехи в этом направлении, наиболее полно отвечающее перечисленным выше критериям по отношению к воде является ее модифицирование физическими и химическими воздействиями, среди которых особо следует выделить комбинированные вещественно-полевые методы [1].

Целью настоящей работы ставилось изучение комплексного воздействия на жидкость затворения ультразвука с заданной частотой и постоянного магнитного поля заданной напряженности, а также влияние модифицированной таким образом жидкости затворения на свойства цементных систем.

При выполнении исследований использовалось ультразвуковое устройство УСУ-0707 с частотой акустических колебаний излучателя  $125 \pm 6$  КГц и потребляемой мощностью 9 Вт. Постоянное магнитное поле создавали с помощью системы магнитов на основе неодим-бора с величиной магнитной индукции на поверхности магнитов  $0,10 \pm 0,02$  Тл. Система магнитов обеспечивала области градиентного магнитного поля, через которые пропускалась дистиллированная вода со скоростью 0,7 м/с. Обработка жидкости затворения проводилась циклически по замкнутому контуру. При этом использовались различные варианты комбинированного воздействия, такие как отдельные последовательные воздействия ультразвука и магнитного поля, так и параллельное совместное воздействие этих вещественно-полевых модификаторов.

Изменение физико-химических свойств воды и цементных композиций изучали с применением рентгеновского дифрактометра ДРОН-4. Дифрактометр включает в себя гониометр ГУР-9, источник рентгеновского излучения ИРИС-7, блок измерительно-регистрирующей и управляющей аппаратуры в комплексе с персональным компьютером. Облучение образцов осуществлялось монохроматическим рентгеновским излучением, источником которого является рентгеновская трубка БСВ-27 с медным анодом ( $\lambda = 1,54018 \text{ \AA}$ ).

Для определения прочности образцов при сжатии изготавливали образцы кубы размером  $(2 \times 2 \times 2) 10^{-2}$  м из цементного раствора при водоцементном отношении, равном 0,38. Образцы, затворенные активированной жидкостью и дистиллированной водой, выдерживали в камере нормального твердения и испытывали на прочность при сжатии в заданные сроки по стандартным методикам.

Ранее в работе [12] было показано, что обработка постоянным магнитным полем воды, как дистиллированной, так и природной, приводит к смещению pH среды в щелочную область вплоть до 8,5–9,0 единиц по сравнению с соответствующим показателем контрольной воды (pH = 6,86). При этом анализ УФ-спектров показал, что плотность водородных связей при цикловой магнитной обработке воды возрастает на 25–50 % в зависимости от числа циклов.

Затворение такой водой цементного камня приводит к более прочной связи молекул воды с минералами портландцементного клинкера, что подтверждается при сравнении дериватограмм цементного камня в одном и том же возрасте твердения исследуемых и контрольных образцов. Сдвиг эндоэффектов дегидратации воды в сторону более высоких значений температур (на 20–30 %) подтверждает выдвинутые предположения [Там же].

Воздействие на воду ультразвуком разной энергии при различном времени обработки приводит, как известно, к диспергированию крупных класте-

ров воды на более мелкие фрагменты и, как следствие, к повышению ее электропроводности и концентрации ионов водорода в жидкой фазе. Из этого вытекает, что система «цемент – вода» должна быть очень чувствительна к последовательности технологических приемов комбинированной обработки воды как жидкости затворения цементных систем. Результаты испытаний представлены в таблице.

**Влияние модифицированной вещественно-полевыми воздействиями жидкости затворения на прочность цементных композиций**

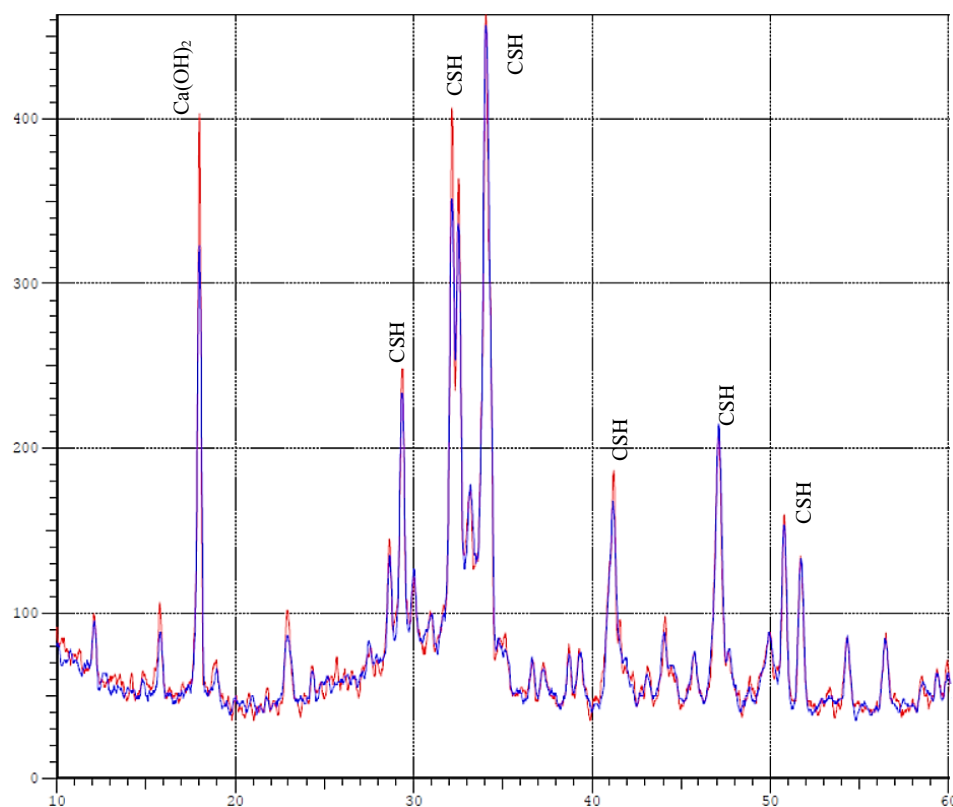
№	Вид обработки	Прочность образцов, МПа/%, за время твердения, сут		
		3	7	28
1	Без обработки	37/71	50/96	52/100
2	Ультразвук (УЗ)	41/79	62/119	68/131
3	Магнитное поле (МП)	28/54	40/77	38/73
4	Последовательное воздействие МП + УЗ	35/67	33/63	57/110
5	Последовательное воздействие УЗ + МП	44/84	64/123	70/135

Как видно из таблицы, прочность структур твердения в системе «цемент – вода» после воздействия только ультразвука в 28-суточном возрасте варьируется в диапазоне 18,4–20,1 МПа в зависимости от времени обработки, что выше прочности контрольных образцов на 23–35 %.

После обработки постоянным магнитным полем прочность образцов возросла на 25 % в этом же возрасте. После обработки комбинированным воздействием ультразвук + магнитное поле – на 45 % и после комбинированного воздействия магнитное поле + ультразвук – на 12 %.

Из анализа результатов исследований можно заключить, что последовательность обработки приводит к различным прочностным характеристикам цементно-песчаного раствора. По мнению авторов, это может быть обусловлено следующими причинами. Диспергирование водной среды ультразвуком сопровождается образованием различных короткоживущих частиц и состояний в воде, кавитационными эффектами и другими сопутствующими явлениями, которые, в свою очередь, чувствительны к воздействию магнитного поля. В результате реакционная способность воды по отношению к цементу резко возрастает, и, как следствие, наблюдается рост прочности. При первоначальной обработке воды магнитном полем, а затем ультразвуком, ввиду образования более прочных структур жидкой фазы, ультразвуковое воздействие менее эффективно при одних и тех же энергиях и времени экспозиции. Как следствие, наблюдаются более низкие значения прочности.

Рентгенофазовый анализ цементного камня показал, что интенсивность дифракционных максимумов портландита  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  возросла на 20–25 % после комбинированного воздействия на жидкость затворения (рисунок).



Рентгенофазовый анализ цементного камня, затворенного жидкостью, подвергнутой комбинированной обработке

Роль  $\text{Ca(OH)}_2$  связана не только с интенсивностью гидролиза алита, но и его влиянием на характер и механизм взаимодействия с водой других материалов с цементом, особенно трехкальциевого алюмината [13]. Механизм повышения гидролиза алита связан, в свою очередь, с возрастанием реакционной способности воды после последовательной ультразвуковой и магнитной ее обработки за счет образования короткоживущих частиц и состояний, таких как радикалы, гидратированный электрон и другие [14].

Таким образом, последовательную обработку жидкости затворения ультразвуком, а затем магнитным полем следует считать наиболее оптимальной и ее можно рекомендовать для производства строительных материалов на основе цементных систем.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Саркисов Ю.С. Управление процессами структурообразования дисперсных систем // Известия вузов. Строительство. 1993. № 2. С. 106–109.
2. Горленко Н.П., Саркисов Ю.С. Низкоэнергетическая активация дисперсных систем. Томск: Изд-во ТГАСУ, 2011. 264 с.
3. Афанасьев Д.А., Саркисов Ю.С., Кугаевская С.А. и др. Спектральные исследования воды затворения, обработанной постоянным магнитным полем // Техника и технология силикатов. 2016. Т. 23. № 1. С. 12–18.

4. Верецагин В.И., Рихванов Л.П., Саркисов Ю.С. и др. Синергетические принципы создания строительных и композиционных материалов полифункционального назначения // Известия ТПУ. 2009. Т. 315. № 3. С. 12–15.
5. Лесовик В.С. Геоника (геометрика). Примеры реализации в строительном материаловедении. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2014. 206 с.
6. Лесовик В.С. Геоника. Предмет и задачи. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2012. 213 с.
7. Саркисов Ю.С. Вяжущие вещества на основе оксидных систем // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2013. № 1. С. 108–118.
8. Саркисов Ю.С., Горленко Н.П., Рахманова И.А. Геоника: от геохимии бора к искусственным материалам боратного твердения // Ползуновский вестник. 2016. № 3. С. 168–171.
9. Горленко Н.П., Саркисов Ю.С., Павлова А.Н. и др. Низкоэнергетическая активация воды как способ «зеленых» технологий в производстве строительных материалов // Инвестиции, строительство, недвижимость как материальный базис модернизации и инновационного развития экономики: материалы VI Международной научно-практической конференции, 14–17 марта 2017 г. Ч. 1. Томск. С. 247–250.
10. Асеева И.А. Философские и биоэтические аспекты развития новых конвергентных технологий как фактор трансформации среды обитания человека // Философские науки. 2016. № 2. С. 85–97.
11. Копаница Н.О., Сафронов В.Н., Демьяненко О.В. и др. Эффективные рецептуры и технологии в строительном материаловедении / Н.О. Копаница // Эффективные рецептуры и технологии в строительном материаловедении: сб. МНТ конференции Новосибирского гос. аграрного ун-та. 2017. С. 122–127.
12. Абзаев Ю.А., Саркисов Ю.С., Сафронов В.Н. и др. Влияние цикловой магнитной обработки воды затворения на структурное состояние фаз цементного камня в различные сроки твердения // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 1. С. 145–154.
13. Саркисов Ю.С., Горленко Н.П., Сафронов В.Н. и др. Температурные отклики воды и водных растворов на внешнее воздействие магнитным полем // Вестник ТГУ. Химия. 2015. № 2. С. 20–29.
14. Самченко С.В. Формирование и генезис структуры цементного камня. М.: НИУ МГСУ, 2016. (Библиотека научных разработок и проектов НИУ МГСУ). Условия доступа: [http://www/iprbookshop.ru/](http://www.iprbookshop.ru/)
15. Рассадкин Ю.П. Вода обыкновенная и необыкновенная. М.: Галерея СТО 2008. 840 с.

## REFERENCES

1. Sarkisov Yu.S. Upravleniye protsessami strukturoobrazovaniya dispersnykh system [Dispersion system process control]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 1993. No. 2. Pp. 106–109. (rus)
2. Gorlenko N.P., Sarkisov Yu.S. Nizkoenergeticheskaya aktivatsiya dispersnykh sistem [Low-energy sensitizing of dispersion systems]. Tomsk: TSUAB Publ., 2011. Pp. 2011–264. (rus)
3. Afanasyev D.A., Sarkisov Yu.S., Kugaevskaya S.A. Spektralnyye issledovaniya vody zatvoreniya, obrabotannoy postoyannym magnitnym polem [Spectral measurements of mixing water subjected to magnetostatic field]. *Tekhnika i tekhnologiya silikatov*. 2016. V. 23. No. 1. Pp. 12–18. (rus)
4. Vereshchagin V.I., Rikhvanov L.P., Sarkisov Yu.S., et al. Sinergeticheskiye printsipy sozdaniya stroitel'nykh i kompozitsionnykh materialov polifunktsional'nogo naznacheniya [Synergetic principles of creating building and composite materials]. *Izvestiya TPU*. 2009. V. 315. Pp. 12–15. (rus)
5. Lesovik V.S. Geonika (geometrika). Primery realizatsii v stroitel'nom materialovedenii [Geonika. Implementations in materials science in construction]. Belgorod: BSTU Publ., 2014. 206 p. (rus)
6. Lesovik V.S. Geonika. Predmet i zadachi [Geonika. Subject and tasks]. Belgorod: BSTU Publ., 2012. 213 p. (rus)
7. Sarkisov Yu.S. Vyazhushchie veshchestva na osnove oksidnykh sistem [Oxide-based binders]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2013. No. 1. Pp. 108–118. (rus)
8. Sarkisov Yu.S., Gorlenko N.P., Rahmanova I.A. Geonika: ot geokhimii bora k iskusstvennym materialam boratnogo tverdeniya [Geoniks: from borium geochemistry to man-made materials of borate concreting]. *Polzunovskii vestnik*. 2016. No. 3. Pp. 168–171. (rus)

9. Gorlenko N.P., Sarkisov Yu.S., Pavlova A.N., et al. Nizkoenergeticheskaya aktivatsiya vody kak sposob zelenykh tekhnologiy v proizvodstve stroitel'nykh materialov [Low-energy water activation as green technology method in material production]. Investitsii, stroitel'stvo, nedvizhimost' kak material'nyi bazis modernizatsii i innovatsionnogo razvitiya ekonomiki. Materialy VI Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Proc. 6<sup>th</sup> Int. Sci. Conf. 'Investments, Construction, Real Estate as a Material Basis for Economy Modernization and Innovation'). March 14-17. 2017. Pp. 247–250. (rus)
10. Aseeva I.A. Filosofskie i bioticheskiye aspekty razvitiya novykh konvergentnykh tekhnologiy kak faktor transformatsii sredy obitaniya cheloveka [Philosophy and biotical aspects of developing convergent innovative technology as transforming principle of human environment]. Filosofskie nauki. 2016. No. 2. Pp. 85–97. (rus)
11. Kopanitsa N.O., Safronov V.N., Demyanenko O.V., et al. Effektivnye retseptury i tekhnologii v stroitel'nom materialovedenii [Efficient composition and technology in materials science]. Sbornik MNT konferentsii Novosibirskogo gos. agrarnogo un-ta (Coll. Papers of MNT Conf.). 2017. Pp. 122–127. (rus)
12. Abzaev Yu.A., Sarkisov Yu.S., Safronov V.N., et al. Vliyaniye tsiklovoy magnitnoy obrabotki vody zatvoreniya na strukturnoye sostoyaniye faz tsementnogo kamnya v raznykh srokakh tverdeniya [Cement brick structure modified by magnetic field water cycling after different periods of hardening]. Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building. 2016. No. 1. Pp. 145–154. (rus)
13. Sarkisov Yu. S., Gorlenko N.P., Safronov V.N., et al. Temperaturnyye otkliki vody i vodnykh rastvorov na vneshneye vozdeystviye magnitnym polem [Water and water solution temperature response to magnetic field effect]. Vestnik TGU. Khimiya. 2015. No. 2. Pp. 20–29. (rus)
14. Samchenko S.V. Formirovaniye i genezis struktury tsementnogo kamnya [Formation and genesis of cement stone structure]. Available: [www/iprbookshop.ru/](http://www.iprbookshop.ru/) (rus)
15. Rassadkin Yu.P. Voda obyknovennaya i neobyknovennaya [Ordinary and extraordinary water]. Moscow: Galereya STO Publ., 2008. 840 p. (rus)

#### Сведения об авторах

Саркисов Юрий Сергеевич, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, [sarkisov@tsuab.ru](mailto:sarkisov@tsuab.ru)

Горленко Николай Петрович, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, [gorlen52@mail.ru](mailto:gorlen52@mail.ru)

Рубанов Александр Викторович, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, [rubal06@yandex.ru](mailto:rubal06@yandex.ru)

Вергасов Владимир Владимирович, магистрант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, [vladimir.vergasov@mail.ru](mailto:vladimir.vergasov@mail.ru)

#### Authors Details

Yuriy S. Sarkisov, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia; [sarkisov@tsuab.ru](mailto:sarkisov@tsuab.ru)

Nikolai P. Gorlenko, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia; [gorlen52@mail.ru](mailto:gorlen52@mail.ru)

Aleksandr V. Rubanov, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia; [rubal06@yandex.ru](mailto:rubal06@yandex.ru)

Vladimir V. Vergasov, Undergraduate, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia; [vladimir.vergasov@mail.ru](mailto:vladimir.vergasov@mail.ru)