

УДК 666.9-127

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-3-112-118

*В.В. ШЕХОВЦОВ, Н.К. СКРИПНИКОВА, Г.Г. ВОЛОКИТИН,
О.Г. ВОЛОКИТИН, М.А. СЕМЕНОВЫХ, В.А. ВЛАСОВ,
Томский государственный архитектурно-строительный университет*

ВЛИЯНИЕ НЕКОНДИЦИОННЫХ ЧАСТИЦ НА МАТРИЦУ БЕТОННОЙ СИСТЕМЫ*

В настоящей работе представлены результаты исследования о влиянии некондиционных частиц на матрицу бетонной системы. Установлено, что в бетонных дисперсных системах происходит возникновение и развитие пространственных структурных каркасов с различной степенью заполнения их некондиционными частицами. Введение некондиционных частиц в состав матрицы бетонной системы приводит к формированию прочных структурных связей за счет контактирования частиц через адсорбционные и диффузионные слои, образованные в процессе формирования субмикрочастилического геля, обтекаемого новообразованными дисперсными областями (С-С-Н). Верификация становления структурных связей в матрице бетонной системы осуществлялась с использованием сканирующей электронной микроскопии.

Ключевые слова: матрица бетона; некондиционные частицы; структурообразование; капиллярно-пористые и дисперсные системы; гидросиликаты.

Для цитирования: Шеховцов В.В., Скрипникова Н.К., Волокитин Г.Г., Волокитин О.Г., Семеновых М.А., Власов В.А. Влияние некондиционных частиц на матрицу бетонной системы // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 3. С. 112–118.
DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-3-112-118

*V.V. SHEKHOVTSOV, N.K. SKRIPNIKOVA, G.G. VOLOKITIN,
O.G. VOLOKITIN, M.A. SEMENOVYKH, V.A. VLASOV,
Tomsk State University of Architecture and Building*

INFLUENCE OF NON-STANDARD PARTICLES ON THE CONCRETE SYSTEM MATRIX

This paper describes the influence of non-standard particles on the matrix of the concrete system. It is found that in the concrete dispersion systems, the formation and development of the spatial structures occurs with the different degree of their occupation with non-standard particles. The introduction of non-standard particles in the concrete matrix leads to the formation of strong structural bonds due to the particle interaction through the adsorption and diffusion layers. The latter appear during the formation of sub-microcrystalline helium surrounded by newly formed dispersion regions (C-S-H). The scanning electron microscopy is used to verify the formation of the structural bonds in the concrete system matrix.

Keywords: concrete matrix; non-standard particles; structure formation; capillary-porous systems; dispersion systems; hydrated silicates.

For citation: Shekhovtsov V.V., Skripnikova N.K., Volokitin G.G., Volokitin O.G., Semenovych M.A., Vlasov V.A. Vliyanie nekonditsionnykh chastits na matritsu betonnoi sistemy [Influence of non-standard particles on the concrete system

* Работа выполнена при поддержке государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ FEMN-2020-0004.

matrix]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2020. V. 22. No. 3. Pp. 112–118. DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-3-112-118

Физическая природа структурообразования тел основывается на изменении энергии межмолекулярного взаимодействия частиц между собой, вследствие чего в дисперсной среде наблюдается развитие новообразованных связей исследуемой матрицы материала. Рассматривая процессы структурообразования матрицы на основе вяжущих веществ, необходимо выделить главную особенность, которая представлена термодинамическим эффектом, за счет которого понижается степень насыщения системы влагой, что приводит к изменению активности обводнения (образование гидросиликатов), тем самым отличается степень насыщения матрицы в типичных капиллярно-пористых телах [1, 2]. Одной из перспективных капиллярно-пористых систем, рассматриваемых на сегодняшний день, является матрица бетона [3–5]. В настоящее время активно проводятся исследования в области модификации матрицы бетонных систем [6, 7] путем ввода некондиционных частиц (НКЧ) различной морфологии для улучшения компактности заполняемых ячеек (кластеров) дисперсной фазы, внутренней структуры и устойчивости к физико-механическим нагрузкам. В качестве НКЧ в большей степени используют шламы, шлаки и зольные остатки тепловых и металлургических предприятий, которые являются продуктом техногенного характера [8]. Однако увеличение содержания НКЧ в матрице бетонной системы вызывает такие проблемы, как низкая прочность, интенсивная подвижность дисперсной системы на ранней стадии твердения [9, 10], вследствие чего снижается долговечность конечного продукта.

Для оценки процессов структурообразования матрицы бетонной системы с учетом взаимодействия НКЧ необходимо отталкиваться от их физической природы образования. Большинство таких масс формируются за счет тепловых нагрузок на исходные сырьевые материалы, используемые на тепловых и металлургических предприятиях, вследствие чего выделяется побочный продукт (отходы), представленный мелкодисперсной скоагулированной массой [11–13]. В работах [14–16] отмечено, что применение таких масс приводит к агломерации и образованию пустот между границами раздела фаз за счет многостороннего взаимодействия частиц.

В настоящей статье представлены результаты исследований взаимодействия НКЧ с матрицей бетонной системы и их влияния на физическую природу структурообразования конечного продукта.

На основе проведенных ранее исследований [17–19] сформулированы тезисы о влиянии концентрации НКЧ на структурообразование матрицы бетонной системы:

– концентрация частиц в диапазоне $0 < k \leq 0,1$ приводит к точечной поляризации капиллярных эффектов на этапе выстраивания гидратных соединений. НКЧ выступают в качестве частичных барьеров (препятствующих центров) на стадии диффузионно-кинетического периода;

– при концентрации $0,1 \leq k \leq 0,3$ развиваются прочные структурные связи C-S-H с дополнительными центрами активации вяжущего компонента, вследствие

чего формируется стабильно-прочная структура матрицы. Частицы являются мостами образования алюмосиликатных матричных структур;

– при концентрации $k > 0,3$ введенные частицы выступают в качестве исходных флокуляционных компонентов, развивающих дестабилизацию на начальном этапе формирования структурных связей гидратных соединений за счет ослабления энергии молекулярного притяжения между частицами (гидросиликатов), несмотря на формирование плотной матрицы бетонной системы. При этом стоит отметить, что высокая концентрация НКЧ приводит к формированию флокул-центров, содержащих в себе значительное количество H_2O , которая не участвует в обеспечении подвижности бетонной матрицы.

Подтверждение образования прочных структурных связей (C-S-H) с введением НКЧ в диапазоне концентрации $0,1 \leq k \leq 0,3$ находим на электронных снимках (рис. 1), где изображен шлиф поверхности модельных образцов матрицы бетонной системы.

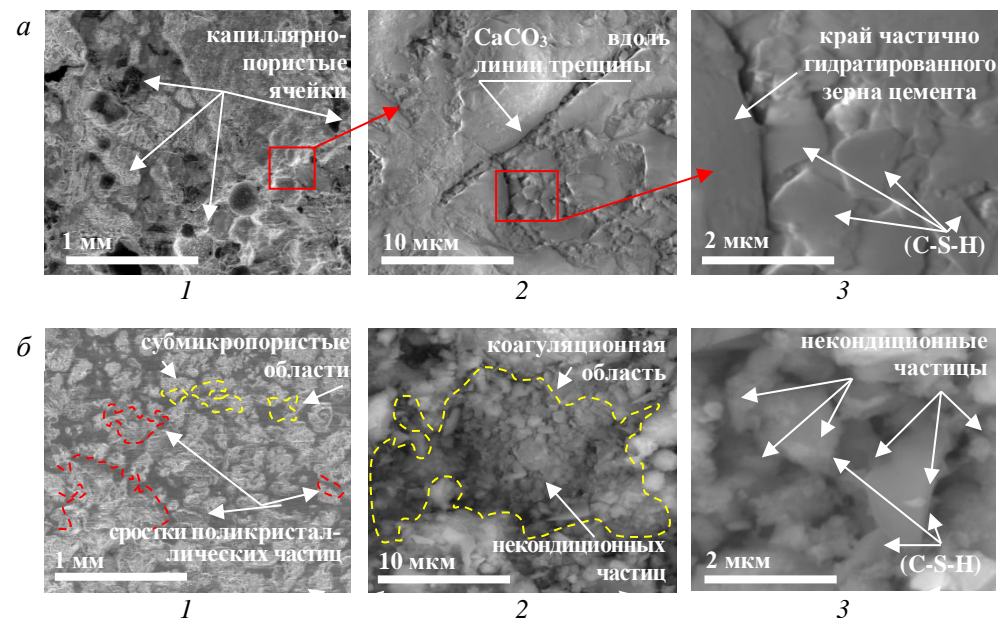


Рис. 1. Электронный снимок матрицы бетонной системы при $k = 0$ (а) и $k = 0,3$ (б):
1 – увеличение в 100 раз; 2 – 8000 раз; 3 – 40000 раз

Для оценки морфологии связнодисперсной системы, представленной матрицей бетона, произведен шлиф поверхности модельных образцов на глубину 3 мм. Первый оценочный объект представлен содержанием НКЧ $k = 0$. Как и в большинстве современных матричных бетонных систем, рассматриваемый объект имеет развитую микрокапиллярную структуру, при этом диаметр пор, как показано (рис. 1, а, снимок 1), может достигать 0,5 мм. Одной из причин, существенно влияющих на прочностную характеристику конечного продукта, является присутствие в матрице негидратированной дисперсной фазы и непрореагировавших пуццолановых частиц (рис. 1, а, снимок 3). При взаимодействии

углекислого газа, находящегося в воздухе, с жидкой фазой матрицы образуется углекислота, которая реагирует с фазой, представленной гидроксидом кальция ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), вследствие чего образуется CaCO_3 . Характерными местами зарождения CaCO_3 являются линии трещин в структурной матрице (рис. 1, а, снимок 2). Прочностную характеристику матрице бетонной системы придают сформированные гидросиликаты кальция типа $\text{CSH}(\text{В})$ (обозначение по Р. Боггу), а также гексагональные зерна гидроалюминатов кальция. Приведенные соединения имеют слоистую кристаллическую решетку, способны отдавать и принимать определенное количество воды, заключенной между элементарными слоями решетки, без ее нарушения. Формирование слоистой структуры протекает на начальном этапе гидратации за счет новообразованных субкристаллических центров ($\text{CSH}(\text{В})$). В дальнейшем, с увеличением степени гидратации, контракция ($\text{CSH}(\text{В})$) возрастает, но объем затвердевших ячеек не уменьшается. Вследствие этого результатом контракции является увеличение пористости вокруг сформированных центров. Величина пористости в этом случае зависит по большей части от исходного водоцементного фактора. Повышенная величина контракции может способствовать уменьшению деформации в твердеющей системе из-за более свободного размещения гелевидных новообразований в порах.

Переходя к рассмотрению модельного образца с $k = 0,3$ НКЧ, стоит отметить равномерное распределение сростков поликристаллических частиц с разделенными субмикропористыми разветвлениями, представленными коагулированными мелкодисперсными НКЧ (рис. 1, б, снимок 2). Это связано с развитием межмолекулярных сил между НКЧ за счет достижения системой столь тесного межчастичного взаимодействия, при котором становится возможным проявление межмолекулярных сил, приводящих к образованию твердения матрицы бетонной системы. При протекании химических реакций вследствие термодинамического эффекта включается работа НКЧ в качестве сцепляемых поликристаллических частиц (янусов), находящихся в межзерновых кластерах. В этом случае НКЧ выступают в роли центров и связанных цепочек новообразований ($\text{CSH}(\text{В})$) при превращении гелеобразного вещества в поликристаллическую пористую матрицу бетонной системы. Как видно (рис. 1, б, снимок 3), гексагональные зерна ($\text{CSH}(\text{В})$) имеют по своему периметру суб- и микронные включения, приближенные к форме гидросиликатов, и могут являться центрами активации появления дисперсной фазы в межпористой области на границах раздела фаз, включенных в матрицу бетонной системы.

Проведенные исследования позволили сформировать и объяснить процессы структурообразования матриц бетонных систем, модифицированных некондиционными частицами. Установлены граничные условия влияния НКЧ на физико-механические характеристики матрицы бетонной системы. Максимальная прочность модельных образцов достигалась при вводе НКЧ концентрацией $k = 0,3$. Увеличение концентрации НКЧ вплоть до $k = 0,5$ формирует структурированный каркас с высокой плотностью, но при этом пониженной прочностью. Это связано с перенасыщением системы НКЧ, частицы выступают в качестве исходных флокуляционных компонентов, развивающих дестабилизацию на начальном этапе формирования структурных связей гидратных соединений за счет ослабления энергии молекулярного притяжения между частицами (гидросиликатов).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Karim M.R., Hossain M.M., Manjur A.E., Mohd Zain M.F.* Effects of source materials, fineness and curing methods on the strength development of alkali-activated binder // *Journal of Building Engineering*. 2020. V. 29. P. 101147.
2. *Oderji S.Y., Chen B., Shakya C., et. al.* Influence of superplasticizers and retarders on the workability and strength of one-part alkali-activated fly ash/slag binders cured at room temperature // *Construction and Building Materials*. 2019. V. 229. P. 116891.
3. *Велданов В.А., Даурских А.Ю., Дудик Д.Е. и др.* Экспериментальные и теоретические исследования влияния механических свойств бетона и бетонных конструкций на характер их деформирования при проникании скоростного ударника // *Известия высших учебных заведений. Физика*. 2013. Т. 56. № 7-3. С. 26–28.
4. *Юдин А.С., Кузнецова Н.С., Иванов Н.А., Лопатин В.В.* Влияние характеристик канала капиллярного разряда при шпуровом отколе от массива бетона // *Известия высших учебных заведений. Физика*. 2014. Т. 57. № 3/3. С. 272–275.
5. *Лотов В.А., Сударев Е.А., Кутугин В.А.* Физико-химические процессы при активации цементно-песчаной смеси в центробежном смесителе // *Известия высших учебных заведений. Физика*. 2011. Т. 54. № 11/3. С. 346–349.
6. *Krasilin A.A., Panchuk V.V., Semenov V.G., Gusarov V.V.* Formation of variable-composition iron(III) hydrosilicates with the chrysotile structure // *Russian Journal of General Chemistry*. 2016. V. 86. № 12. P. 2581–2588.
7. *Skripnikova N.K., Potekaev A.I., Shekhovtsov V.V., et. al.* Carbon-containing technogenic raw materials in ceramic product production // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. V. 696. № 1. P. 012016.
8. *Torosyan V.F., Zeng X., Torosyan E.S., Lazareva A.N., Tesleva E.P.* Formation and utilization of recyclable wastes at engineering enterprise // *Materials Science Forum*. 2018. V. 927 MSF. P. 195–200.
9. *Химич Т.С., Матвеев С.А., Кадисов Г.М., Уткин В.А.* Использование отхода производства керамической пыли в качестве заполнителя в цементобетонных смесях // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2019. Т. 726. № 6. С. 18–23.
10. *Пучугин А.П., Денисов А.С., Хританков В.Ф., Пименов Е.Г.* Роль микроармирования в обеспечении эксплуатационных характеристик крупнопористого легкого бетона // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2016. Т. 696. № 12. С. 5–15.
11. *Devasahayam S.* Utilization and recycling of end of life plastics for sustainable and clean industrial processes including the iron and steel industry // *Sustainable Materials and Technologies*. 2019. V. 22. P. 00119.
12. *Meshalkin V.P., Puchkov A.Y., Dli M.I., Bobkov V.I.* Generalized Model for Engineering and Controlling a Complex Multistage Chemical Energotechnological System for Processing Apatite-Nepheline Ore Wastes // *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. 2019. V. 53. № 4. P. 463–471.
13. *Dikhanbaev B., Dikhanbaev A.B., Sultan I., Rusowicz A.* Development of hydrogen-enriched water gas production technology by processing Ekibastuz coal with technogenic waste // *Archive of Mechanical Engineering*. 2018. V. 65. № 2. P. 221–231.
14. *Гарькина И.А., Данилов А.М., Королев Е.В.* Когнитивное моделирование при синтезе композиционных материалов как сложных систем // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2009. Т. 603/604. № 3/4. С. 30–37.
15. *Игнатова О.А., Макарова Н.В.* Влияние ультрадисперсной добавки сажевого пигмента на свойства гипсоцементно-пуццоланового вяжущего // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2017. Т. 707/708. № 11/12. С. 31–41.
16. *John V.M., Quattrone M., Abrão P.C.R.A., Cardoso F.A.* Rethinking cement standards: Opportunities for a better future // *Cement and Concrete Research*. 2019. V. 124. P. 105832.
17. *Скрипникова Н.К., Шеховцов В.В., Григорьевская Д.К., Семеновых М.А., Юрьев И.Ю.* Мелкозернистый бетон с использованием отходов металлургии // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2019. Т. 21. № 2. С. 185–191.
18. *Власов В.А., Скрипникова Н.К., Шеховцов В.В., Семеновых М.А., Волокитин О.Г., Волокитин Г.Г.* Особенности формирования цементного клинкера в условиях низкотем-

пературной плазмы // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2019. № 11 (731). С. 24–32.

19. Волокитин О.Г., Шеховцов В.В. Перспективы использования низкотемпературной плазмы в строительстве и архитектуре // Физика и химия стекла. 2018. Т. 44. № 3. С. 324–327.

REFERENCES

1. Karim M.R., Hossain M.M., Manjur A.E., Mohd Zain M.F. Effects of source materials, fineness and curing methods on the strength development of alkali-activated binder. *Journal of Building Engineering*. 2020. V. 29. P. 101147.
2. Oderji S.Y., Chen B., Shakya C., et al. Influence of superplasticizers and retarders on the workability and strength of one-part alkali-activated fly ash/slag binders cured at room temperature. *Construction and Building Materials*. 2019. V. 229. P. 116891.
3. Veldanov V.A., Dauriskikh A.Yu., Dudik D.Ye., et al. Eksperimental'nyye i teoreticheskiye issledovaniya vliyaniya mekhanicheskikh svoystv betona i betonnykh konstruktсий na kharakter ikh deformirovaniya pri pronikaniі skorostnogo udarnika [Mechanical properties of concrete and concrete structures after deformation by high-speed hammer]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Fizika*. 2013. V. 56. No. 7/3. Pp. 26–28. (rus)
4. Yudin A.S., Kuznetsova N.S., Ivanov N.A., Lopatin V.V. Vliyaniye kharakteristik kanala kapillyarnogo razryada pri shpurovom otkole ot massiva betona [Characteristics of capillary discharge channel affecting blasthole-induced concrete array flushing]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Fizika*. 2014. V. 57. No. 3/3. Pp. 272–275. (rus)
5. Lotov V.A., Sudarev Ye.A., Kutugin V.A. Fiziko-khimicheskiye protsessy pri aktivatsii tsementno-peschanoy smesi v tsentrobezhnom smesitele [Physicochemical processes in activation of cement-sand mixture in centrifugal mixer]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Fizika*. 2011. V. 54. No. 11/3. Pp. 346–349. (rus)
6. Krasilin A.A., Panchuk V.V., Semenov V.G., Gusarov V.V. Formation of variable-composition iron(III) hydrosilicates with the chrysotile structure. *Russian Journal of General Chemistry*. 2016. V. 86. No. 12. P. 2581–2588.
7. Skripnikova N.K., Potekaev A.I., Shekhovtsov V.V., et al. Carbon-containing technogenic raw materials in ceramic product production. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. V. 696. No. 1. P. 012016.
8. Torosyan V.F., Zeng X., Torosyan E.S., Lazareva A.N., Tesleva E.P. Formation and utilization of recyclable wastes at engineering enterprise. *Materials Science Forum*. 2018. V. 927 MSF. P. 195–200.
9. Khimich T.S., Matveyev S.A., Kadisov G.M., Utkin V.A. Ispol'zovaniye otkhoda proizvodstva keramicheskoy pyli v kachestve zapolnitelya v tsementobetonnykh smesyakh [The use of tile dust production waste as a concrete mix aggregate]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo*. 2019. V. 726. No. 6. Pp. 18–23. (rus)
10. Pichugin A.P., Denisov A.S., Khritankov V.F., Pimenov Ye.G. Rol' mikroarmirovaniya v obespechenii ekspluatatsionnykh kharakteristik krupnoporistogo legkogo betona [Micro-reinforcement in lightweight popcorn concrete performance]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo*. 2016. V. 696. No. 12. Pp. 5–15. (rus)
11. Devasahayam S. Utilization and recycling of end of life plastics for sustainable and clean industrial processes including the iron and steel industry. *Sustainable Materials and Technologies*. 2019. V. 22. P. 00119.
12. Meshalkin V.P., Puchkov A.Y., Dli M.I., Bobkov V.I. Generalized model for engineering and controlling a complex multistage chemical energotechnological system for processing apatite-nepheline ore wastes. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. 2019. V. 53. No. 4. Pp. 463–471.
13. Dikhanbaev B., Dikhanbaev A.B., Sultan I., Rusowicz A. Development of hydrogen-enriched water gas production technology by processing Ekibastuz coal with technogenic waste. *Archive of Mechanical Engineering*. 2018. V. 65. No. 2. Pp. 221–231.
14. Gar'kina I.A., Danilov A.M., Korolev Ye.V. Kognitivnoye modelirovaniye pri sinteze kompozitsionnykh materialov kak slozhnykh sistem [Cognitive modelling in synthesis of composite materials as complex systems]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo*. 2009. V. 603/604. No. 3/4. Pp. 30–37. (rus)

15. Ignatova O.A., Makarova N.V. Vliyaniye ul'tradispersnoy dobavki sazhevogo pigmenta na svoystva gipsotsementno-putstsolanovogo vyazhushchego [Effect of ultra-dispersed soot pigment on properties of gypsum cement pozzolanic binder]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo*. 2017. V. 707/708. No. 11/12. Pp. 31–41. (rus)
16. John V.M., Quattrone M., Abrão P.C.R.A., Cardoso F.A. Rethinking cement standards: Opportunities for a better future. *Cement and Concrete Research*. 2019. V. 124. P. 105832.
17. Skripnikova N.K., Shekhovtsov V.V., Grigorevskaya D.K., Semenovikh M.A., Yur'ev I.Y. Melkozernisty beton s ispol'zovaniyem otkhodov metallurgii [Small-grain concrete based on metallurgy waste]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Journal of Construction and Architecture*. 2019. V. 21. No. 2. Pp. 185–191. (rus)
18. Vlasov V.A., Skripnikova N.K., Shekhovtsov V.V., Semenovikh M.A., Volokitin O.G., Volokitin G.G. Osobnosti formirovaniya tsementnogo klinkera v usloviyakh nizkotemperaturnoy plazmy [Cement clinker formation by low-temperature plasma]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo*. 2019. No. 11 (731). Pp. 24–32. (rus)
19. Volokitin O.G., Shekhovtsov V.V. Perspektivy ispol'zovaniya nizkotemperaturnoy plazmy v stroitel'stve i arkhitekture [Prospects for using low-temperature plasma in construction and architecture]. *Fizika i khimiya stekla*. 2018. V. 44. No. 3. Pp. 324–327. (rus)

Сведения об авторах

Шеховцов Валентин Валерьевич, ст. преподаватель, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, shehovcov2010@yandex.ru

Скрипникова Нелли Карповна, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, nks2003@mail.ru

Волокитин Геннадий Георгиевич, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, vgg-tomsk@mail.ru

Волокитин Олег Геннадьевич, докт. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, volokitin_oleg@mail.ru

Семеновых Марк Андреевич, аспирант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, markik90@gmail.com

Власов Виктор Алексеевич, докт. физ.-мат. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, rector@tsuab.ru

Authors Details

Valentin V. Shekhovtsov, Senior Lecturer, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, shehovcov2010@yandex.ru

Nelli K. Skripnikova, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, nks2003@mail.ru

Gennady G. Volokitin, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, vgg-tomsk@mail.ru

Oleg G. Volokitin, DSc, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, volokitin_oleg@mail.ru

Mark A. Semenovikh, Research Assistant, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, markik90@gmail.com

Viktor A. Vlasov, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, rector@tsuab.ru