

УДК 691.535

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНОВ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫМ САПОНИТ- СОДЕРЖАЩИМ МАТЕРИАЛОМ

М.В. Морозова

Северный (Арктический) федеральный университет
имени М.В. Ломоносова, Архангельск, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Реализация программы развития Северных и Арктических территорий не представляется возможной без использования в строительной индустрии современных материалов и технологий. Одним из наиболее распространённых и востребованных строительных материалов является мелкозернистый бетон, для производства которого используют химические добавки в основном импортного производства, улучшающие эксплуатационные характеристики композита. Поэтому актуальной проблемой является замена импортных составляющих на добавки российского производства. В качестве такой добавки можно использовать техногенное сырьё в виде сапонитсодержащего отхода алмазодобывающей промышленности.

Материалы и методы. Для изготовления мелкозернистого бетона использовали речной песок средней крупности месторождения «Кеницы», в качестве вяжущего – портландцемент ЦЕМ II/A-Ш компании ОАО «Мордовцемент». Выделенный из оборотной воды процесса обогащения кимберлитовых руд сапонитсодержащий материал предварительно подвергали механоактивации. Контрольные образцы бетона и опытные (с высокодисперсной добавкой) готовили по стандартным методикам. После выдержки в течение 28 сут были определены эксплуатационные характеристики полученных образцов (предел прочности на сжатие, морозостойкость и водонепроницаемость).

Результаты. В качестве добавки в бетонную смесь использовали высокодисперсный сапонитсодержащий материал со средним размером частиц 445 ± 40 нм и удельной поверхностью 50670 ± 10 м²/кг. Определение прочностных и морозостойких характеристик показало значительное увеличение данных показателей у опытных образцов. Кроме того, введение минеральной добавки способствует повышению марки по водонепроницаемости.

Анализ микроструктуры бетонных образцов методом растровой электронной микроскопии показал, что в опытных образцах, в отличие от контрольных, присутствуют гидросиликаты группы тоберморита, играющие роль дополнительного связующего.

Обсуждение и заключение. Установлено, что минеральная добавка увеличивает прочность опытных образцов бетона в 1,6 раза по сравнению с контрольными. При этом повышается морозостойкость (с F100 до F300) и водонепроницаемость (с W6 до W10). Полученные данные позволяют рассматривать ССМ как активный минеральный компонент в вяжущих композициях гидратационного типа твердения.

Разрабатываемая бетонная смесь с добавкой сапонитсодержащего материала позволит не только снизить антропогенное воздействие на регион, но и получить экологически чистое сырьё российского производства. Экономический эффект при сравнении с аналогами составит 26%.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: бетон, сапонитсодержащий материал, прочность, морозостойкость, водонепроницаемость, минеральная добавка, механоактивация, удельная поверхность, отход промышленности.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена на Уникальной научной установке «Физикохимия поверхности нанодисперсных систем», САФУ имени М.В. Ломоносова.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие Европейского Севера связано со строительством дорог, коммуникаций, жилых и промышленных объектов. Обеспечение комфортной и развивающейся городской инфра-

структуры северных городов невозможно без изучения и разработки новых строительных материалов, применимых к суровым климатическим условиям [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Для комплексного социально-экономического развития территорий Севера и Арктики требуется модернизация существующей инфраструктуры, связанная с внедрением новых инженерных и строительных технологий. Реализация программы основывается на создании городов и поселков в условиях Крайнего Севера и Арктики, что не представляется возможным без использования в строительной индустрии высокопрочных мелкозернистых бетонов [7, 8, 9, 10].

Такой бетон должен в первую очередь отличаться эксплуатационной надежностью. Высококачественный композиционный материал должен иметь высокие показатели прочности, морозостойкости, водонепроницаемости [6, 11, 12, 13, 14, 15].

На данный момент наиболее перспективным решением задачи повышения эксплуатационных характеристик бетонных композитов в северных климатических условиях является разработка новых эффективных классов строительных композитов и процессов их получения, позволяющих целенаправленно регулировать свойства объектов [1, 2, 6, 16, 17]. Все это можно достигнуть за счет модификации цемента [11, 16, 18], использования новых видов бетонов и растворов [19, 20, 21], применения активных минеральных компонентов [18, 22, 23].

Для повышения эксплуатационных характеристик бетонного композита используют химические добавки в основном импортного производства, что ведет к дополнительному удорожанию продукции и увеличению сроков изготовления. Поэтому возникает необходимость в разработке добавок российского производства, способных оказывать комплексное воздействие на свойства бетонной смеси (регулирование подвижности, плотности, повышение прочности, морозостойкости). Это позволит решить актуальный вопрос импортозамещения.

Кроме того, технология получения бетонов высокого класса основывается также на управлении структурообразованием композита на всех этапах производства, позволяющих целенаправленно регулировать свойства объектов на микро- и наноразмерном уровнях [18, 19, 22, 23]. Особое значение приобретают экономические и экологические аспекты повышения эффективности бетона.

Ранее в [24, 25] был исследован процесс влияния высокодисперсных добавок на свой-

ства бетонного композита, разработан оптимальный состав мелкозернистого бетона с использованием сапонитсодержащих отходов (ССО) алмазодобывающей промышленности.

Целью данной работы является определение для мелкозернистых бетонных композитов с добавкой на основе сапонитсодержащих отходов таких эксплуатационных характеристик, как прочность, морозостойкость и водонепроницаемость.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для изготовления образцов мелкозернистого бетона использовались следующие компоненты: в качестве инертного заполнителя использовали речной песок средней крупности месторождения «Кеницы» Архангельской области, в качестве вяжущего – портландцемент ЦЕМ II/A-Ш компании ОАО «Мордовцемент».

Сапонитсодержащий материал (ССМ) был выделен из суспензии оборотной воды путем электролитной коагуляции, основанной на переводе высокодисперсных частиц твердой фазы в состояние, близкое к изоэлектрическому. Для проведения исследований использовали усредненную пробу ССО, отобранную из оборотной воды процесса обогащения кимберлитовых руд на разной глубине хвостохранилища. Подготовка добавки на основе сапонитсодержащих отходов производилась по следующей схеме. Выделенный из оборотной воды ССМ доводили до постоянной массы при температуре 105 °С. Измельчение материала до требуемой степени дисперсности осуществляли методом сухого помола на планетарной шаровой мельнице Retsch PM100. Опытным путем были подобраны оптимальные режимные параметры диспергирования. Размер частиц определяли на анализаторе размера субмикронных частиц и дзета - потенциала Delsa Nano методом измерения динамического и электрофоретического светорассеяния.

Полученный высокодисперсный образец охарактеризовали методом сорбции азота на анализаторе Autosorb-iQ-MP по величине удельной поверхности $S_{уд}$.

Изготовление образцов мелкозернистого бетона контрольных и опытных (с добавкой ССМ) составов осуществляли по стандартным методикам.

Испытания на прочность путём сжатия проводили после 28 сут выдержки бетонных кубиков на прессе ИП-1250. Предел прочности при сжатии определяли как среднее арифметическое по трем параллельным измерениям.

Для определения морозостойкости были проведены ускоренные испытания при мно-

гократном замораживании и оттаивании по третьему методу согласно ГОСТ 10060.0-95 «Бетоны. Методы определения морозостойкости. Общие требования» и ГОСТ 10060.2– 95 «Бетоны. Ускоренные методы определения морозостойкости при многовариантном замораживании и оттаивании» при знакопеременных температурах в диапазоне от 24 до -55°С.

Для замораживания использовали камеру тепла и холода ТХВ-64. Программным обеспечением камеры задавали временной режим процесса замораживания-оттаивания, состоящий из следующих этапов: загрузка образцов при 10°С; понижение температуры в камере до -10 °С; понижение температуры в течение двух часов в камере до - 55°С; выдержка в камере при - 55 °С в течение двух часов; повышение температуры в течение одного часа до -10°С; выгрузка из камеры емкостей с образцами.

Исследование микроструктуры образцов мелкозернистого бетона проводили методом растровой электронной микроскопии на электронном микроскопе Zeiss Sigma VP (ЦКП «Арктика» при САФУ имени М.В. Ломоносова).

РЕЗУЛЬТАТЫ

В процессе диспергирования опытным путем были подобраны оптимальные режимные

параметры измельчения: время диспергирования составило 90 мин., скорость вращения ротора – 420 об/мин., мелющие тела – 20 шт. карбид вольфрамовых шаров, диаметром 20 мм. Полученный при этом высокодисперсный сапонитсодержащий материал обладал средним размером частиц 445±40 нм и удельной поверхностью 50670±10 м²/кг.

В продолжение исследований были изготовлены контрольные и опытные образцы мелкозернистого бетона (с добавкой ССМ). Количество высокодисперсной добавки, которое необходимо ввести в бетонную смесь, рассчитывали на основании результатов кинетических исследований процесса водопоглощения материала из условия, что сапонитсодержащий материал за 30 мин изменит В/Ц отношение смеси с 0,50 до 0,38.

Равномерность смешения высокодисперсной минеральной добавки с исходными сырьевыми материалами достигалась последовательным смешением равных объемов вяжущего и ССМ.

Прочностные характеристики при испытании на сжатие образцов, а также количество циклов замораживания и оттаивания и полученные при этом результаты приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1
ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОННЫХ ОБРАЗЦОВ
Table 1
STRENGTH CHARACTERISTICS OF CONCRETE SAMPLES

№ п/п	Контрольный состав		Опытный состав	
	Предел прочности, МПа	Модуль упругости, МПа	Предел прочности, МПа	Модуль упругости, МПа
1	41,65	282 6,92	65,01	441 2,44
2	39,38	269 7,26	65,29	447 1,92
3	42,96	292 9,09	64,90	442 5,00

Таблица 2
ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ ЦИКЛИЧНОМ ЗАМОРАЖИВАНИИ И
ОТТАИВАНИИ ОБРАЗЦОВ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА
Table 2
STRENGTH CHARACTERISTICS ON THE PROCESS OF CYCLIC FREEZING AND THAWING
OF THE FINE-GRAINED CONCRETE SAMPLES

Количество циклов The number of cycles	Контрольный образец	Опытный образец
	Среднее значение предела прочности, МПа	
0	41,33	65,31
75	49,43	65,78
100	45,19	66,03
150	35,78	66,31
200	11,40	66,12
300	-	65,60

Результаты экспериментов показали, что при введении в бетонную смесь минеральной добавки на основе сапонитсодержащего материала прочность опытных образцов повышается в 1,6 раза по сравнению с контрольными.

Данные по определению показателя морозостойкости (таблица 2) позволили установить, что бетонный композит опытного состава выдерживает не менее 300 циклов попеременного замораживания и оттаивания, в то время как контрольный – 100 циклов.

Установлено, что прочностные характеристики полученного опытного композита в течение 6 циклов попеременного замораживания–оттаивания в водном растворе 5% NaCl (что соответствует 300 циклам эксплуатации бетона) изменились незначительно. Таким образом, была определена марка по морозостойкости для мелкозернистого бетона контрольного состава – F100, для опытного состава – F300.

Результаты определения марки по водонепроницаемости показали, что для образцов контрольного состава она составила – W6, для опытного состава – W10.

Согласно данным РЭМ микроструктура композита представлена в виде конгломератов частиц и новообразований гидросиликатов, размер которых колеблется от 2 до 20 мкм. Частицы имеют различную форму, но в основном можно выделить два типа частиц: губчатые (рисунок 1, а) с развитой микропористой поверхностью имеющие размеры от 5 до 10 мкм; игольчатые (рисунок 1, б) с длиной от 0,5 до 5 мкм (диаметр иголок примерно 0,5 мкм).

Причем в контрольном образце присутствуют только частицы первого типа, а в опытном с добавкой сапонит-содержащего материала наблюдается образование двух типов частиц.

Согласно данным РЭМ образовавшиеся в

опытном образце кристаллы игольчатой формы свидетельствует о присутствии субмикроразмерных гидросиликатов группы тоберморита, которые играют роль дополнительного связующего. Кроме того, присутствие в образце различных форм кристаллов позволяет заполнить анизометричные и изометричные поры. Так, наличие скрытокристаллических гидросиликатов кальция и тоберморита способствует уплотнению бетонной матрицы, снижению ее пористости и омоноличиванию структуры.

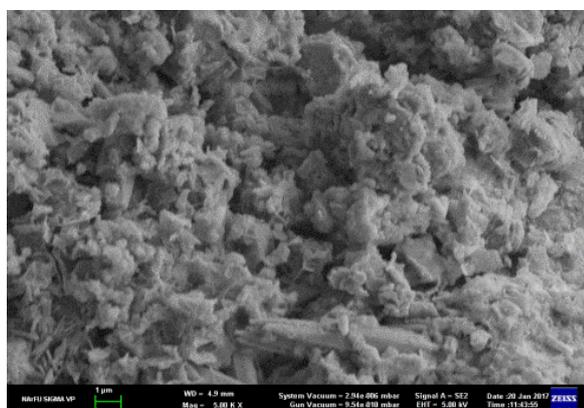
ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволяют сделать следующий вывод. Установлено, что минеральная добавка на основе высокодисперсного сапонитсодержащего материала, выделенного из оборотной воды процесса обогащения кимберлитовых руд, увеличивает прочность опытных образцов бетона в 1,6 раза по сравнению с контрольными. При этом повышается морозостойкость (с F100 до F300) и водонепроницаемость (с W6 до W10). Полученные данные позволяют рассматривать ССМ как активный минеральный компонент в вяжущих композициях гидратационного типа твердения.

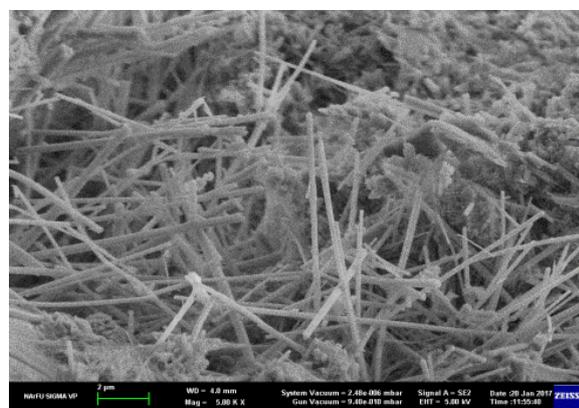
Разрабатываемая бетонная смесь с добавкой сапонитсодержащего материала позволит не только снизить антропогенное воздействие на регион, но и получить экологически чистое сырье российского производства. Экономический эффект при сравнении с аналогами составит 26%.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Sohail M.G., Wang, B., Jain, A., Dawood, M., Belarbi, A. Advancements in concrete mix designs: High-performance



а



б

Рисунок 1 – Микроструктура образца состава: а – контрольного; б – опытного с добавкой ССМ
Figure 1 – Microstructure of the sample composition : a – control sample; b – experienced sample with SCM

and ultrahigh-performance concretes from 1970 to 2016. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2018, 30 (3), 04017310

2. Alnahhal M.F., Alengaram, U.J., Jumaat, M.Z., Alqedra, M.A., Mo, K.H. Effect of aggressive chemicals on durability and microstructure properties of concrete containing crushed new concrete aggregate and non-traditional supplementary cementitious materials. *Construction and Building Materials*, 2018, 163, pp. 482-495

3. Wang H.-J., Wang, H.-H., Wei, H., Gu, C.-Y. Analysis for frost-resistant durability of C25 level hydraulic concrete in severe cold region, Shenyang Gongye Daxue Xuebao. *Journal of Shenyang University of Technology*, 2015, 37(2), pp. 207-211

4. Фролова М.А., Лесовик В.С. Архитектурная геоника для Северо-Арктического региона. Эффективные строительные композиты // Научно-практическая конференция к 85-летию заслуженного деятеля науки РФ, академика РААСН, доктора технических наук Баженова Юрия Михайловича. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2015. С. 711–717.

5. Samimi, K., Kamali-Bernard, S., Maghsoudi, A.A. Durability of self-compacting concrete containing pumice and zeolite against acid attack, carbonation and marine environment. *Construction and Building Materials*, 2018, 165, pp. 247-263.

6. Wawrzeńczyk, J., Juszczyk, T., Molendowska, A. Effect of Binder Composition on the Structure of Cement Paste and on Physical Properties and Freeze-Thaw Resistance of Concrete. *Procedia Engineering*, 2016, 161, pp. 73-78.

7. Лесовик В.С. Строительные материалы. Настоящее и будущее // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. № 1 (100). С. 9–16.

8. Иноземцев А.С., Королев Е.В. Высокопрочный легкий бетон как инструмент для развития строительной отрасли // Бетон и железобетон. 2017. № 1 (16). С. 14–16.

9. Kamal M.M., Safan, M.A., Bashandy, A.A., Khalil, A.M. Experimental investigation on the behavior of normal strength and high strength self-curing self-compacting concrete. *Journal of Building Engineering*. 2018. 16. pp. 79-93

10. Лесовик В.С., Федюк Р.С. Теоретические предпосылки создания цементных композитов повышенной непроницаемости // Вестник СибАДИ. 2016. № 1 (47). С. 65-72.

11. Яковлев Г.И., Федорова Г.Д., Полянских И.С. Высокопрочный бетон с дисперсными добавками // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 2. С. 35–42.

12. Le H.T., Ludwig, H.-M. Effect of rice husk ash and other mineral admixtures on properties of self-compacting high performance concrete. *Materials and Design*. 2016. № 89. pp. 156-166.

13. Davraz M., Seylan, H., Topcu, İ.B., Uygunoğlu, T. Pozzolanic effect of andesite waste powder on mechanical properties of high strength concrete. *Construction and Building Materials*. 2018. 165. pp. 494-503.

14. Liisma, E., Raado, L.M., Kraht, J. The damaging effect of carbonation process on frost resistant concrete after freeze/thaw cycles. *Advanced Engineering and Technology. II - Proceedings of the 2nd Annual Congress on Advanced Engineering and Technology, CAET 2015*. 2015. pp. 13-18.

15. Cwirzen A., Szttermen, P., Habermehl-Cwirzen, K. Effect of baltic seawater and binder type on frost durability of concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2014, 26(2). pp. 275-282

16. Yanturina R.A., Trofimo, B.Ya., Ahmedjanov, R.M. Structuring in Cement Systems with Introduction of Graphene Nano-Additives. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2017. 262 (1). 012017.

17. Fládr J., Bily, P. Specimen size effect on compressive and flexural strength of high-strength fibre-reinforced concrete containing coarse aggregate. *Composites Part B: Engineering*. 2018. 138. pp. 77-86.

18. Alrekabi S., Cundy, A.B., Lampropoulos, A., Whitby, R.L.D., Savina, I. Mechanical performance of novel cement-based composites prepared with nano-fibres and hybrid nano- and micro-fibres. *Composite Structures*. 2017. 178. pp. 145-156.

19. Lim J.L.G., Raman, S.N., Lai, F.-C., Zain, M.F.M., Hamid, R. Synthesis of nano cementitious additives from agricultural wastes for the production of sustainable concrete. *Journal of Cleaner Production*, 2018. 171. pp. 1150-1160.

20. Mymrin V., Pedroso, D.E., Pedroso, C., Iarozinski, A., Catai, R.E. Environmentally clean composites with hazardous aluminum anodizing sludge, concrete waste, and lime production waste. *Journal of Cleaner Production*, 2018. 174. pp. 380-388.

21. Ogurtsova. Y.N., Zhernovsky, I.V., Botsman, L.N. Efficiency of Composite Binders with Antifreezing Agents. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2017, 262 (1), 012029.

22. Perfilov V., Gabova, V. Nanomodified constructional fiber-reinforced concrete. *MATEC Web of Conferences*, 2017, 129, 05021.

23. Войтович Е.В., Чулкова И.Л., Фомина Е.В., Черватова А.В. Повышение эффективности цементных вяжущих с активным минеральным нанодисперсным компонентом // Вестник СибАДИ. 2015. № 5 (45). С. 56-62.

24. Морозова М.В., Айзенштадт А.М., Фролова М.А., Махова Т.А. Использование сапонит-содержащих отходов в качестве компонента сухой строительной смеси для мелкозернистых бетонов с улучшенными эксплуатационными характеристиками. *Academia // Архитектура и строительство*. 2015. №4. С. 137-141.

25. Морозова М.В., Айзенштадт А.М., Махова Т.А. Применение сапонитсодержащего материала для получения морозостойких бетонов // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 1. С. 28–31.

OPERATING CHARACTERISTICS OF CONCRETE MODIFIED BY HIGH-VAPOR SAPONITE-CONTAINING MATERIAL

M.V. Morozova

ABSTRACT

***Introduction.** Implementation of the program of development of the northern and Arctic territories is not possible without the use of the construction industry of modern materials and technologies. One of the most common and popular building materials is fine grained concrete with the chemical additives of imported production and such additives enhance the performance characteristics of composite. So the actual problem is the replacement of imported chemical additives to additives produced in Russia.*

For such supplements the industrial raw material, for example, saponit-containing diamond industry's departure can be used.

Materials and methods. The river sand of the average size from the "Kenicy" mining as an astrigent - portland cement CEM II/A-S of the "Mordovcement" company is used for the manufacturing of fine grained concrete. The saponit-containing material from recycled water enrichment process of the kimberlite ore is previously subjected to mechanical activation. Control and experimental samples of concrete (with a fine supplement) are prepared by standard methods. After 28 days the performance characteristics of obtained samples are described, such as the compressive strength, the frost resistance and the water resistance.

Results. As a result the usage of additives in concrete mixture, such as the superfine saponit-containing material with an average particle size of 445 ± 40 nm and specific surface of 50670 ± 10 m²/kg, shows that the strength and frost-resistant characteristics significantly increase with such parameters in comparison with the prototypes. In addition, the introduction of mineral additives contributes to the enhancement of the brand on the resistance to penetration of water.

Discussion and conclusion. It was established that the mineral additive increases the strength of the test concrete samples by 1.6 times in comparison with the control ones. It also increases the frost resistance (from F100 to F300) and water resistance (from W6 to W10). The obtained data allows us to consider the CMM as an active mineral component in concrete compositions of the hydration hardening type. Therefore, the developed concrete mixture with the addition of saponite-containing material would allow not only to reduce the anthropogenic impact on the region, but also to receive environmentally raw materials of Russian production. The economic effect in comparison with analogues would be 26%.

KEYWORDS: concrete, saponit-containing material, durability, frost resistance, water resistance, mineral supplement, mechanical surface, waste industry.

ACKNOWLEDGEMENTS

The research was carried out on the unique scientific equipment "Physical Chemistry of Surfaces of Nano-Dispersed Systems" in the Northern Arctic Federal University named after M.V. Lomonosov.

REFERENCES

1. Sohail M.G., Wang B., Jain A., Dawood M., Belarbi A. Advancements in concrete mix designs: High-performance and ultrahigh-performance concretes from 1970 to 2016. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2018, no. 30(3). 04017310.
2. Alnahhal M.F., Alengaram U.J., Jumaat M.Z., Alqedra M.A., Mo K.H. Effect of aggressive chemicals on durability and microstructure properties of concrete containing crushed new concrete aggregate and non-traditional supplementary cementitious materials. *Construction and Building Materials*, 2018, no. 163, pp. 482-495.
3. Wang H.-J., Wang H.-H., Wei H., Gu C.-Y. Analiz morozostoykoy prochnosti gidravlicheskogo betona urovnya C25 v holodnom rayone, Shenyang Gongye Daxue Xuebao. *Journal of Shenyang University of Technology*, 2015, no. 37(2), pp. 207-211.
4. Frolova M.A., Lesovik V.S. Arhitekturnaya geonika dlya Severo-Arkticheskogo regiona [Architectural geonic for the North-Arctic region]. *Effective building composites Scientific and practical conference dedicated to the 85th anniversary of the Honored Scientist of the Russian Federation, Academician of RAASN, Doctor of Technical Sciences Bazhenov Y. M. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*, 2015, pp. 711-717.
5. Samimi K., Kamali-Bernard S., Maghsoudi A.A. Durability of self-compacting concrete containing pumice and zeolite against acid attack, carbonation and marine environment. *Construction and Building Materials*, 2018, no.165, pp. 247-263.
6. Wawrzęczyk J., Juszczak T., Molendowska A. Effect of Binder Composition on the Structure of Cement Paste and

on Physical Properties and Freeze-Thaw Resistance of Concrete. *Procedia Engineering*, 2016, no. 161, pp. 73-78.

7. Lesovik V.S. Stroitelnyie materialyi. Nastoyaschee i budushee [Building materials. The present and the future]. *Bulletin of the Moscow State University of Civil Engineering*, 2017, V. 12, no. 1 (100), pp. 9-16

8. Inozemtsev A.S., Korolev E.V. Vvisokoprochnyy legkiy beton kak instrument dlya razvitiya stroitelnoy otrasli [Queens as a tool for the development of the construction industry]. *Concrete and reinforced concrete*. 2017, no. 1 (16), pp. 14-16.

9. Kamal M.M., Safan M.A., Bashandy A.A., Khalil A.M. Experimental investigation on the behavior of normal strength and high strength self-curing self-compacting concrete. *Journal of Building Engineering*, 2018, no. 16, pp. 79-93.

10. Lesovik V.S., Fedjuk R.S. Teoreticheskie predposylki sozdaniya tsementnyih kompozitov povyishennoy neproni-saemosti [Theoretical prerequisites for creating cementitious composites of increased impermeability]. *Vestnik SibADI*, 2016, no. 1 (47), pp. 65-72.

11. Yakovlev G.I., Fedorova G.D., Polyanski I.S. Vvisokoprochnyy beton s dispersnyimi dobavkami [High-strength concrete with dispersed and additives]. *Industrial and civil construction*, 2017, no. 2, pp. 35-42.

12. Le H.T., Ludwig H.-M. Effect of rice husk ash and other mineral admixtures on properties of self-compacting high performance concrete. *Materials and Design*. 2016, no 89, pp. 156-166.

13. Davraz M., Ceylan H., Topçu İ.B., Uygunoğlu T. Pozzolanic effect of andesite waste powder on mechanical properties of high strength concrete. *Construction and Building Materials*, 2018, no. 165, pp. 494-503.

14. Liisma E., Raado L.M., Kraht J. The damaging effect of carbonation process on frost resistant concrete after freeze/thaw cycles. *Advanced Engineering and Technology. II - Proceedings of the 2nd Annual Congress on Advanced Engineering and Technology*, CAET 2015. 2015, pp. 13-18.

15. Cwirzen A., Sztermen P., Habermehl-Cwirzen K. Effect of baltic seawater and binder type on frost durability of concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2014, no. 26 (2), pp. 275-282.

