

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.12737/article_5bab4a1716b568.75074339

Лукутцова Н.П., д-р техн. наук, проф.,
Пыкин А.А., канд. техн. наук, доц.,
Баранова А.А., аспирант

Брянский государственный инженерно-технологический университет

ВЫСОКОПРОЧНЫЙ МЕЛКОЗЕРНИСТЫЙ БЕТОН С МУЛЬТИКОМПОНЕНТНЫМ НАНОИМПРЕГНАТОМ АЛЮМОСИЛИКАТНОГО СОСТАВА

Исследованы физико-технические характеристики (средняя плотность, прочность на сжатие и скорость ее набора, истираемость, водопоглощение, морозостойкость, усадка) высокопрочного мелкозернистого бетона для быстровозводимых зданий и сооружений, аварийных и ремонтно-восстановительных работ с использованием мультикомпонентного наноимпрегната (пропитывающего состава с содержанием полифункциональных активных нанообъектов), полученного методом кавитационного суспензирования и аппретирования минерального алюмосиликатного компонента пластифицирующе-водоредуцирующими и гидрофобизирующими поверхностно-активными веществами (аппретами). Определены морфология, химический и гранулометрический состав исходного алюмосиликатного компонента, а также показатели размерности (минимальный, средний, максимальный, эффективный диаметр, полидисперсность), агрегативной устойчивости (дзета-потенциал) разработанного наноимпрегната, включающего гексагональные пластинчатые частицы, средний диаметр которых составляет около 50 нм, дзета-потенциал минус 67 мВ, полидисперсность 18 %. Установлено, что наноимпрегнат позволяет получить быстротвердеющий высокопрочный мелкозернистый бетон класса прочности на сжатие В65, марки по истираемости G1, марки по морозостойкости F₁₃₀₀ с пониженной усадкой (в 1,5 раза) и водопоглощением (в 1,7 раза), ускорить набор прочности в ранние (2–7 суток) сроки твердения (в 2,5–2,7 раза). Повышение физико-технических характеристик бетона достигается вследствие направленного комплексного воздействия разработанного наноимпрегната на формирование микроструктуры цементного камня в зоне контакта с заполнителем за счет дополнительного образования уплотняющих и упрочняющих новообразований, идентичных гидроалюминатам и гидросиликатам кальция, перераспределения пористости цементной матрицы в сторону увеличения количества мезопор диаметром в интервале от 3 до 33 нм при снижении общего объема пор в 1,5 раза.

Ключевые слова: высокопрочный мелкозернистый бетон, физико-технические характеристики, мультикомпонентный наноимпрегнат, кавитационное суспензирование, аппретирование, микроструктура цементного камня, макро- и мезопоры.

Введение. Применение высокопрочных мелкозернистых бетонов (МЗБ) класса прочности на сжатие В60 и выше соответствует задачам стратегии развития промышленности строительных материалов на период до 2020 года и дальнейшую перспективу до 2030 года по расширению отечественных, энерго- и ресурсосберегающих технологий и способов повышения качества и долговечности железобетонных изделий и конструкций, в том числе при строительстве быстровозводимых монолитных и сборно-монолитных зданий и сооружений, а также при выполнении аварийных и ремонтно-восстановительных работ.

Обладая однородностью и мелкозернистостью макроструктуры, мелкозернистый бетон, по сравнению с традиционным крупнозернистым бетоном, характеризуется следующими технико-экономическими преимуществами: возможностью создания высококачественной микро- и

наноструктуры; повышенной тиксотропией и способностью к эффективной модификации микро- и нанодисперсными добавками; высокой технологичностью (формуемостью, уплотняемостью различными методами: литья, экструзии, прессования, штампования, набрызга и др.); легкой транспортируемостью, в том числе по трубопроводам; возможностью получения новых архитектурно-конструкционных решений (тонкостенные и слоистые конструкции, изделия переменной плотности, гибридные конструкции) и применения местных сырьевых материалов природного и техногенного происхождения; более низкой себестоимостью. Однако широкое применение МЗБ сдерживает ряд существенных недостатков: повышенные расход цемента, макропористость, усадка и ползучесть, пониженный модуль упругости, а также потребность в дефицитных высококачественных крупных и мелких пес-

ках рационального гранулометрического состава, содержащих минимальное количество глинистых и пылевидных примесей [1].

Получение высокопрочных МЗБ можно достичь различными приемами: снижение водопотребности гипер- и суперпластификаторами нового поколения на основе поликарбоксилатов и полиакрилатов [2, 3]; создание системы замкнутых пор воздухововлекающими и газообразующими добавками; снижение макропористости кольматирующими добавками; придание водоотталкивающих свойств гидрофобизаторами; химическая (поверхностно-активными веществами и электролитами), механическая (электрическими, магнитными, ультразвуковыми и др.), комбинированная (механо-, плазмо-, электрохимическими и др.) активация компонентов бетонной смеси, в частности воды затворения [4]; введение микронаполнителей в виде модифицированных природных и техногенных песков, композиционных вяжущих на их основе [5, 6], а также углеродных, силикатных, алюмосиликатных, металлооксидных [7] и комплексных наномодификаторов [8] цементной матрицы; дисперсное армирование структуры бетона фиброй [9, 10] и волокнистыми [11] наноматериалами (углеродными, галлуазитовыми и биосилифицированными [12] нанотрубками, диспергированными воластонитом, серпентинитом и др.).

Среди современных эффективных способов модифицирования цементных бетонов, в том числе МЗБ, большой научно-практический интерес представляет импрегнирование (пропитывание) их поровой структуры различными пропитывающими [13, 14] составами (упрочняющими, водоотталкивающими, обеспыливающими, окрашивающими).

Целью данной работы является исследование физико-технических характеристик высокопрочного МЗБ для быстровозводимых зданий и сооружений, аварийных и ремонтно-восстановительных работ с использованием мультикомпонентного наноимпрегната алюмосиликатного состава.

Методика. В исследованиях применялись следующие методы: рентгенофлуоресцентная спектроскопия на спектрометре ARL 9900 XP, лазерная гранулометрия на анализаторе Analysette 22 NanoTec plus (химический и гранулометрический состав алюмосиликатного компонента наноимпрегната); фотонно-корреляционная спектроскопия, электрофоретическое светорасщепление на анализаторе ZetaPlus с системой 90Plus/Bi-MAS (показатели размерности и агрегативной устойчивости частиц наноимпрегната); электронная микроскопия на растровом микро-

скопе TESCAN MIRA 3 LMU (морфология частиц алюмосиликатного компонента и наноимпрегната на его основе, микроструктура цементного камня в контактной зоне с заполнителем); азотная порометрия на приборе Sorbi-M (распределение пор по размерам в цементном камне относительно их общего объема).

Для получения наноимпрегната использовались алюмосиликатный компонент, вода, пластифицирующе-водоредуцирующий и гидрофобизирующий аппрет: смесь натриевых солей полиметиленнафталинсульфоокислот, соль натрия и олеиновой кислоты соответственно.

Алюмосиликатным компонентом служил метакаолин ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) – дисперсный материал, содержащий аморфные модификации оксида алюминия и оксида кремния, получаемый после специальной термической обработки и помола каолина, следующего химического состава (% по массе): SiO_2 – 42,83; Al_2O_3 – 50,61; Fe_2O_3 – 1,89; CaO – 0,15; $(Na_2O + K_2O)$ – 0,72; MgO – 0,96; SO_3 – 0,32; Cl – 0,04; прочее – 2,48.

Морфология частиц метакаолина представлена наличием отдельных микродисперсных частиц и их агрегатов угловатой формы, а также столбчатых конгломератов, состоящих из спаянных гексагональных пластинок толщиной менее 50 нм (рис. 1, а). Средний диаметр частиц равен 14 мкм. Доля частиц в диапазоне 0,01-0,1 мкм составляет 0,5 %; 0,1–0,5 мкм – 2,7 %; 0,5–1 мкм – 4,7 %; 1–10 мкм – 53,4 %; 10–100 мкм – 38,7 % (рис. 1, б).

Получение наноимпрегната осуществлялось в ультразвуковом механоактиваторе ПСБ-4035-04 и заключалось в кавитационном суспензировании исходного метакаолина в водной среде при температуре $(20 \pm 2)^\circ C$ и частоте ультразвука 35 кГц с последующим введением пластифицирующе-водоредуцирующего и гидрофобизирующего аппретов.

Для определения эффективности действия, разработанного наноимпрегната на физико-технические характеристики МЗБ применялись стандартные методы испытаний в соответствии с требованиями ГОСТ 31914-2012 «Бетоны высокопрочные тяжелые и мелкозернистые для монолитных конструкций. Правила контроля и оценки качества», ГОСТ 26633-2015 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые Технические условия».

В качестве сырьевых материалов для приготовления бетонных смесей МЗБ применялись:

- нормальнотвердеющий бездобавочный портландцемент класса ЦЕМ I 52,5Н ГОСТ 31108-2016 (ОАО «Белорусский цементный завод», республика Беларусь, Могилевская обл., г. Костюковичи). Химический состав (% по массе): CaO – 66,2; SiO_2 – 21,71; Al_2O_3 – 5,27; Fe_2O_3 –

3,74; MgO – 1,3; SO₃ – 2,1; (Na₂O + K₂O) – 0,65. Минеральный состав (% по массе): C₃S – 60,55; C₂S – 16,59; C₃A – 7,63; C₄AF – 11,38. Удельная поверхность – 364 м²/кг. Нормальная плотность – 27 %. Сроки схватывания: начало – 3 ч 25 мин, конец – 4 ч 25 мин;

- природный кварцевый фракционированный песок с содержанием 65 % (по массе) смеси фракций (0,63-1,25) мм и (1,25-2,5) мм, 35 % фракции (0,16-0,315) мм;
- вода затворения.

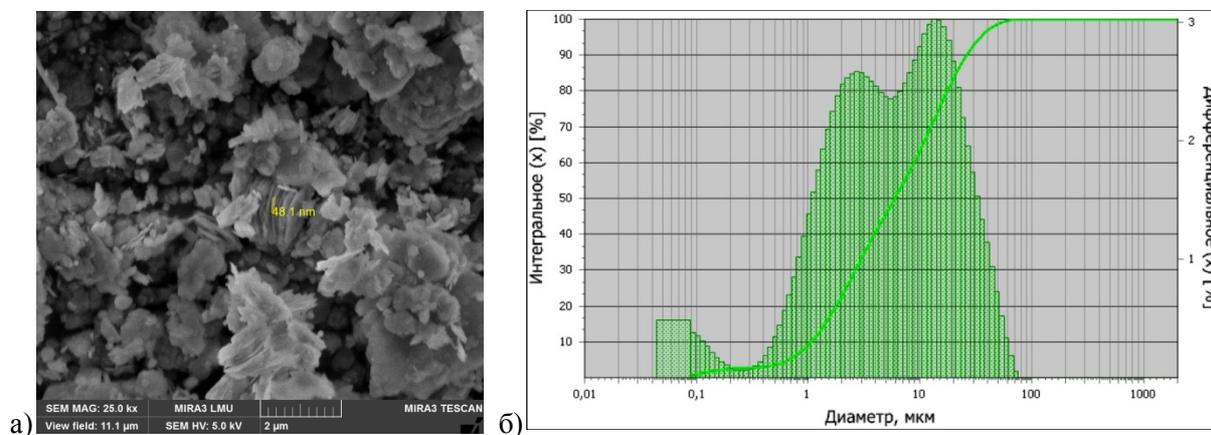


Рис. 1. Морфология (а) и гранулометрический состав (б) частиц исходного метакАОлина

Бетонные смеси приготавливались следующим образом: **пропитывание** портландцемента наноимпрегнатом, вводимого в виде готовой суспензии в количестве 0,05 % (в пересчете на сухое вещество) от массы вяжущего вместе с расчетным объемом воды затворения; добавление песка, взятого в массовом соотношении с цементом 3:1, и тщательное перемешивание массы до однородной смеси.

Испытание контрольных и модифицированных образцов МЗБ проводилось через 2, 7 и 28 суток нормального твердения. Средняя плотность, прочность, водопоглощение и морозостойкость определялись по стандартным методикам на образцах-кубах размерами 10×10×10 см, усадка – на образцах-балочках размерами 4×4×16 см (с использованием прибора **62-L0035/A** для измерения линейной усадки), истираемость – на образцах-кубах размерами 7×7×7 см (с помощью круга истирания ЛКИ-3).

Морозостойкость образцов оценивалась по изменению прочности на сжатие после многократного замораживания и оттаивания ускоренным (вторым) методом (среда насыщения – 5 % водный раствор NaCl; среда и температура замораживания – воздушная, минус (18 ± 2) °С; среда и температура оттаивания – 5 % водный раствор NaCl, (20 ± 2) °С).

Основная часть. Результаты электронной микроскопии показали, что кавитационное суспензирование метакАОлина способствует эрозии его микрочастиц и агрегатов вплоть до нанодиапазона, а также расщеплению нанотолщинных гексагональных пластинок, содержащихся в столбчатых конгломератах (рис. 2).

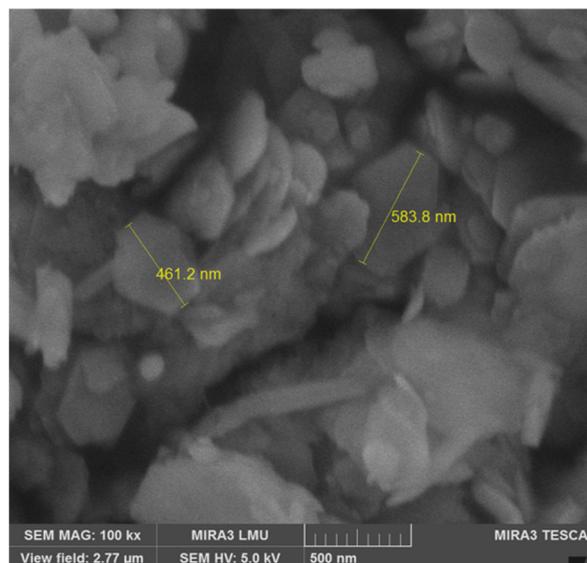


Рис. 2. Морфология частиц метакАОлина после кавитационного суспензирования

По данным фотонно-корреляционной спектроскопии и электрофоретического светорассеяния установлено, что кавитационное суспензирование метакАОлина без введения аппретов приводит к образованию агрегативно-неустойчивой суспензии, поскольку среднее значение дзета-потенциала ее частиц (минус 5 мВ) ниже критического (минус 30 мВ), в то время как для стабильной системы величина дзета-потенциала колеблется в интервале ± (30-70) мВ [15].

Последующее аппретирование частиц метакАОлина используемыми пластифицирующе-водоредуцирующим и гидрофобизирующим поверхностно-активными веществами приводит к повышению среднего значения дзета-потенциала

более чем в 13 раз и снижению среднего диаметра в 11 раз (табл. 1). Результаты испытаний (табл. 2) показали, что введение нанои́мпрегната способствует повышению физико-технических характеристик мелкозернистого бетона:

- ускорению набора прочности на сжатие в ранние (2–7 суток) сроки твердения (в 2,5–2,7

раза);

- повышению проектной (марочной) прочности на сжатие (в 2,2 раза) и морозостойкости (в 2,5 раза);

- снижению водопоглощения (в 1,7 раза), усадки (в 1,5 раза) и истираемости (в 2,2 раза).

Таблица 1

Показатели размерности и устойчивости частиц метакаолина после кавитационного суспензирования

Диаметр частиц, нм				Полидисперсность, %	Дзета-потенциал, мВ
минимальный	максимальный	средний	эффективный		
Без аппретов					
81	835	594	580	23	минус 5
С аппретами					
25	392	53	210	18	минус 67

В соответствии с ГОСТ 25192-2012 «Бетоны. Классификация и общие технические требования» образцы МЗБ с нанои́мпрегнатом по скорости набора прочности являются быстротвердеющими, поскольку отношение значений прочности

на сжатие в возрасте 2 суток к 28 суткам ($R_{сж}^2/R_{сж}^{28}$) составляет 0,43, а образцы МЗБ контрольного состава – медленнотвердеющими ($R_{сж}^2/R_{сж}^{28} = 0,38$).

Таблица 2

Физико-технические характеристики мелкозернистого бетона

Наименование показателя, единица измерения	Состав МЗБ	
	контрольный	с нанои́мпрегнатом
Средняя плотность, кг/м ³	2345	2352
Прочность на сжатие, МПа, в возрасте:		
2 суток	15,1	37,3
7 суток	24,5	65,8
28 суток	39,7	86,4
Класс прочности на сжатие	B30	B65
Истираемость, г/см ²	0,82	0,37
Марка по истираемости	G2	G1
Водопоглощение, %	3,6	2,1
Морозостойкость по ускоренному (второму) методу, циклы	30	75
Марка по морозостойкости	F ₁₅₀	F ₃₀₀
Усадка, мм/м	0,77	0,52

Для установления механизма влияния нанои́мпрегната на физико-технические характеристики МЗБ было проведено электронно-микроскопическое и порометрическое исследование микроstructures цементного камня (ЦК), взятого из зон контакта с зернами песка в контрольных и модифицированных образцах бетона.

Выявлено, что ЦК контрольного состава характеризуется крупнокристаллической микроstructure с наличием микротрещин в плоскостях спаянности гидратных новообразований и волокон разной морфологии, идентичных этрингиту и гидросиликатам кальция (рис. 3).

Образцы ЦК, модифицированные нанои́мпрегнатом, представлены

мелкокристаллической микроstructure с содержанием в порах плотно сросшихся пластинчатых и волокнисто-цепочечных кристаллов, идентичных гидроалюминатам и гидросиликатам кальция (рис. 4).

Результаты азотной порометрии показали, что общий объем пор в ЦК контрольного состава равен $3 \cdot 10^{-3}$ см³/г. При этом распределение пор относительно их общего объема выглядит следующим образом: 27 % ($0,81 \cdot 10^{-3}$ см³/г) составляют макропоры (согласно классификации IUPAC) диаметром около 142 нм; 34 % ($1,02 \cdot 10^{-3}$ см³/г) и 39 % ($1,17 \cdot 10^{-3}$ см³/г) мезопоры диаметром около 33 нм и 15 нм соответственно (рис. 5).

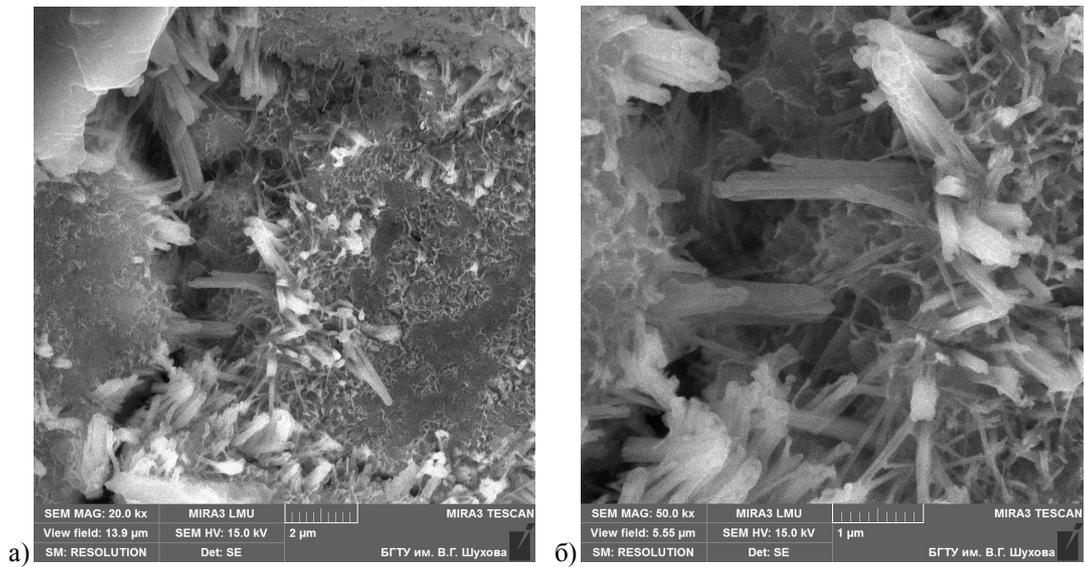


Рис. 3. Микроструктура цементного камня мелкозернистого бетона контрольного состава:
а – ×20000 раз; б – × 50000 раз

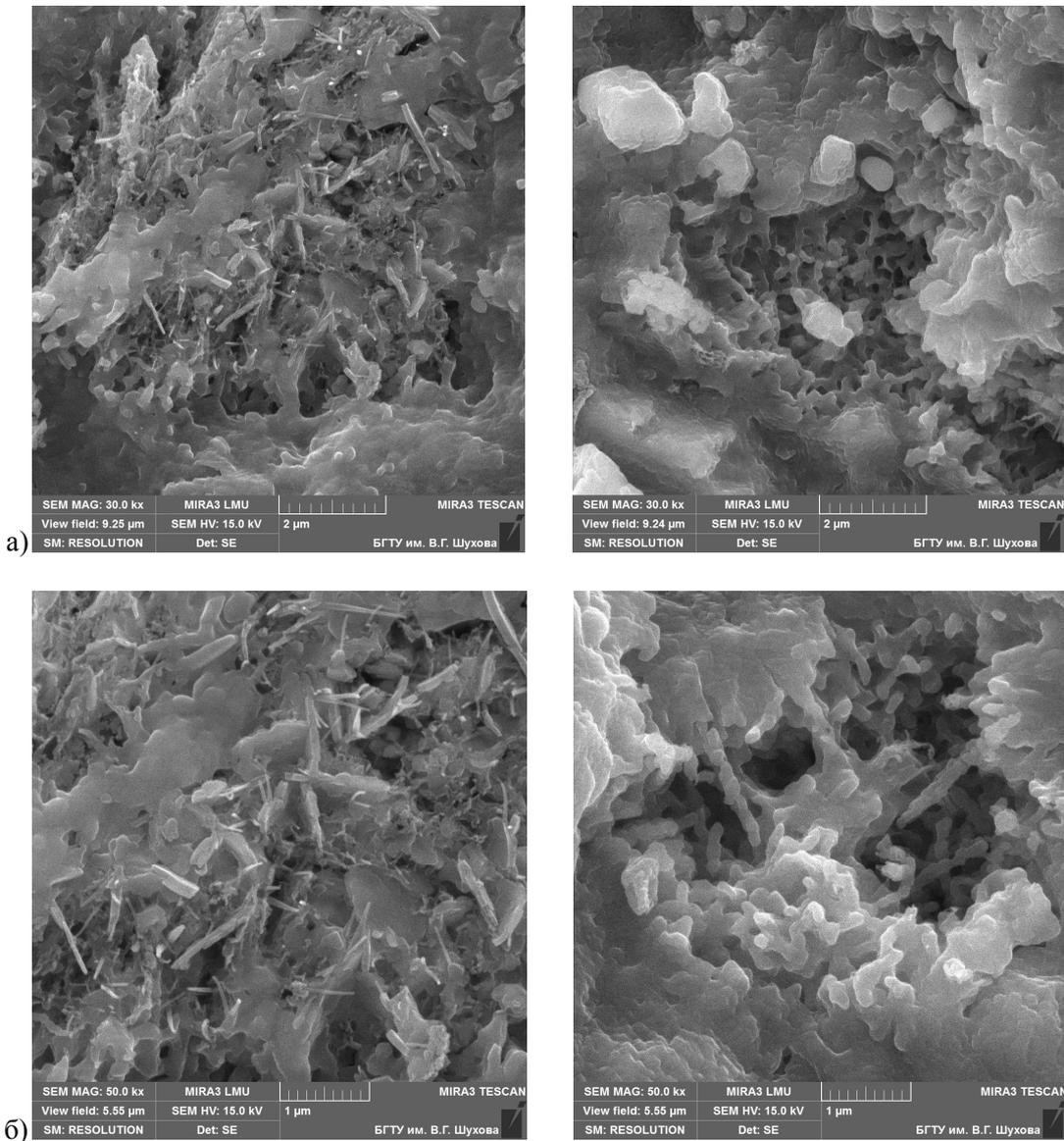


Рис. 4. Микроструктура цементного камня мелкозернистого бетона с нанопрепнгатом:
а – ×30000 раз; б – × 50000 раз

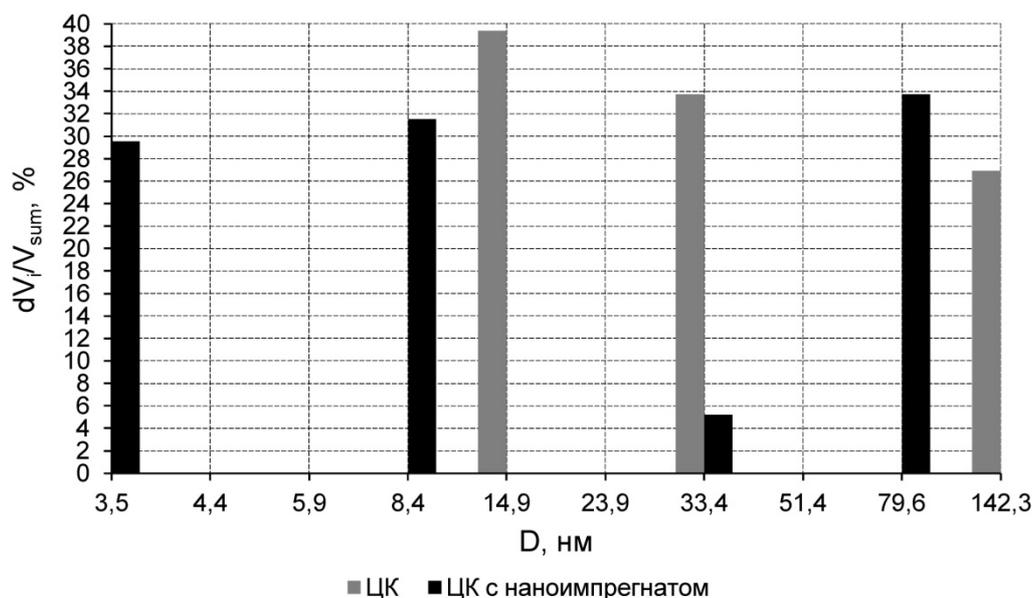


Рис. 5. Распределение пор по размерам в цементном камне мелкозернистого бетона относительно их общего объема

В то же время, ЦК с наноимпрегнатом характеризуется содержанием пор общим объемом $2 \cdot 10^{-3}$ см³/г, из которых 34 % ($0,68 \cdot 10^{-3}$ см³/г) приходится на долю макропор диаметром около 80 нм; 5 % ($0,1 \cdot 10^{-3}$ см³/г), 32 % ($0,64 \cdot 10^{-3}$ см³/г) и 29 % ($0,58 \cdot 10^{-3}$ см³/г) – на долю мезопор диаметром около 33 нм, 8 нм и 3 нм соответственно.

Выводы. В ходе проведения исследований обоснована возможность повышения физико-технических характеристик высокопрочного мелкозернистого бетона для быстровозводимых зданий и сооружений, аварийных и ремонтно-восстановительных работ за счет введения мультикомпонентного наноимпрегната алюмосиликатного состава в виде агрегативно-устойчивой суспензии с содержанием частиц средним диаметром около 50 нм и дзета-потенциалом минус 67 мВ, разработанного методом кавитационного суспензирования и аппретирования метакаолина пластифицирующе-водоредуцирующим и гидрофобизирующим поверхностно-активными веществами. Установлено, что наноимпрегнат позволяет получить быстротвердеющий высокопрочный мелкозернистый бетон класса прочности на сжатие В65, марки по истираемости G1, марки по морозостойкости F₁₃₀₀ с пониженной усадкой (в 1,5 раза) и водопоглощением (в 1,7 раза), ускорить набор прочности в ранние (2–7 суток) сроки твердения (в 2,5–2,7 раза). Механизм влияния наноимпрегната на свойства бетона связан с дополнительным образованием в цементном камне в зоне контакта с заполнителем уплотняющих и упрочняющих новообразований, идентичных гидроалюминатам и гидросиликатам кальция, а также перераспределения пористости цементной матрицы в сторону увеличения количества

мезопор диаметром в интервале от 3 до 33 нм при снижении общего объема пор от $3 \cdot 10^{-3}$ до $2 \cdot 10^{-3}$ см³/г (в 1,5 раза).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дворкин Л.И., Житковский В.В. Высокопрочные мелкозернистые бетоны с использованием гранитных отсеков // Технологии бетонов. 2017. № 5-6 (130131). С. 21–25.
2. Ларсен О.А., Дятлов А.К. Повышение эффективности мелкозернистых бетонов добавками поликарбоксилатных пластификаторов для монолитного домостроения // Технологии бетонов. 2013. № 10 (87). С. 14–15.
3. Щепочкина Ю.А., Каракотенко-Любимов А.И. Мелкозернистый бетон с включением добавки полиакрилата натрия // Информационная среда вуза. 2017. № 1 (1). С. 416–418.
4. Федосов С.В., Акулова М.В., Слизнева Т.Е. Изучение закономерностей структурообразования в цементном камне на механо-магнитоактивированной воде с добавкой ПВА // Academia. Архитектура и строительство. 2017. № 2. С. 117–122.
5. Лесовик Р.В. К выбору техногенных песков для получения композиционных вяжущих и мелкозернистых бетонов // Технологии бетонов. 2015. № 1-2. С. 60–63.
6. Алфимова Н.И., Ковальченко О.В., Калатоши В.В. Мелкозернистые бетоны и композиционные вяжущие на техногенном сырье. Комплексное использование техногенного сырья. Сарбрюккен: Изд-во LAP LAMBERT, 2017. 137 с.
7. Lukuttsova N.P., Pashayan A.A., Khomyakova E.N., Suleymanova L.A., Kleymenicheva Yu.A. The use of additives based on industrial wastes

for concrete // International Journal of Applied Engineering Research. 2016. № 11. Pp. 7566–7570.

8. Баженов Ю.М., Алимов Л.А., Воронин В.В. Структура и свойства бетонов с наномодификаторами на основе техногенных отходов. Москва: Изд-во МГСУ, 2013. 204 с.

9. Nizina T.A., Balykov A.S., Volodin V.V., Korovkin D.I. Fiber fine-grained concretes with polyfunctional modifying additives // Magazine of Civil Engineering. 2017. №. 4. Pp. 73–83. DOI: 10.18720/MCE.72.9.

10. Лесовик Р.В., Агеева М.С., Казлитина О.В., Сопин Д.М., Митрохин А.А. К вопросу об оптимизации структуры высокопрочного фибробетона за счет использования нанодисперсного модификатора // Вестник ВСГУТУ. 2017. № 4 (67). С. 64–70.

11. Нуртдинов М.Р., Соловьев В.Г., Бурьянов А.Ф. Мелкозернистые бетоны, модифицированные нановолокнами $AlOON$ и Al_2O_3 // Строительные материалы. 2015. № 2. С. 68–71.

12. Lukutsova N.P., Ustinov A.G. Concrete modified by additive based on biosilicated nanotubes // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Vol. 10. №. 19. Pp. 40457–40460.

13. Янахметов М.Р., Чуйкин А.Е., Массалимов И.А. Модифицирование поровой структуры цементных бетонов пропиткой серосодержащими растворами // Нанотехнологии в строительстве. 2015. Т. 7. № 1. С. 63–72. DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-1-63-72.

14. Строкова В.В., Огурцова Ю.Н., Боцман Л.Н. Эпикристаллизационное модифицирование строительных композитов различного функционального назначения с использованием гранулированного наноструктурирующего заполнителя // Нанотехнологии в строительстве. 2016. Т. 8. № 5. С. 42–59. DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2016-8-5-42-59.

15. Lukutsova N.P., Pykin A.A. Stability of nanodisperse additives based on metakaolin // Glass and Ceramics. 2015. № 11-12. Pp. 383–386.

Информация об авторах

Лукутцова Наталья Петровна, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой производства строительных конструкций.

E-mail: natluk58@mail.ru

Брянский государственный инженерно-технологический университет.
Россия, 241037, Брянск, проспект Станке Димитрова, д. 3.

Пыкин Алексей Алексеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных конструкций.

E-mail: alexem87@yandex.ru

Брянский государственный инженерно-технологический университет.
Россия, 241037, Брянск, проспект Станке Димитрова, д. 3.

Баранова Алена Александровна, аспирант кафедры производства строительных конструкций.

E-mail: aly-spodenejko@yandex.ru

Брянский государственный инженерно-технологический университет.
Россия, 241037, Брянск, проспект Станке Димитрова, д. 3.

Поступила в июне 2018 г.

© Лукутцова Н.П., Пыкин А.А., Баранова А.А., 2018

Lukutsova N.P., Pykin A.A., Baranova A.A.

HIGH-STRENGTH FINE-GRAINED CONCRETE WITH A MULTICOMPONENT NONIMPREGNATED ALUMINOSILICATE COMPOSITION

The physical and technical characteristics (average density, compressive strength and speed of its set, abrasion, water absorption, frost resistance, shrinkage) of high-strength fine-grained concrete for prefabricated buildings and structures, emergency and repair works with the use of multi-component nanoimpregnate (impregnating composition containing multifunctional active nanoobjects) are studied, obtained by the method of cavitation of the suspension and appreciable aluminosilicate mineral component by plasticizing admixtures-water-reducing and water-repellent surface-active substances (coupling agents). The morphology, chemical and granulometric composition of the initial aluminosilicate component, as well as the parameters of dimension (minimum, average, maximum, effective diameter, polydispersity), aggregate stability (Zeta potential) of the developed nanoimpregnate, including hexagonal plate particles, the average diameter of which is about 50 nm, Zeta potential minus 67 mV, polydispersity 18 %. It is established that nanoimprint allows you to fast-hardening high-strength fine-grained concrete class compressive strength V65, marks of abrasion G1,

brand F1300-frost resistant with low shrinkage (1.5 times) and water (1.7 times), to accelerate strength development at an early (2–7 days) time of setting (2.5–2.7 times). The increase in the physical and technical characteristics of concrete is achieved due to the directed complex effect of the developed nanoimpregnate on the formation of the microstructure of cement stone in the contact zone with the filler due to the additional formation of compacting and strengthening tumors identical to hydroaluminates and calcium hydrosilicates, redistribution of the porosity of the cement matrix in the direction of increasing the number of mesopores with a diameter in the range from 3 to 33 nm with a decrease in the total pore volume by 1.5 times.

Keywords: high-strength fine-grained concrete, physical and technical characteristics, the multicomponent nanoimprint, cavitation suspension, the dressing of the cement stone microstructure, macro - and mesopore.

REFERENCES

1. Dvorkin L.I., Zhitkovsky V.V. High-strength fine-grained concrete with the use of granite screenings. *Concrete Technologies*, 2017, no. 5-6 (130131), pp. 21–25.
2. Larsen O.A., Dyatlov A.K. Improving the efficiency of fine-grained concrete by polycarboxylated plasticizers for monolithic house-building. *Concrete Technologies*, 2013, no. 10 (87), pp. 14–15.
3. Shchepochkina Yu.A., Karakotenko-Lyubimov A.I. Fine-grained concrete with the inclusion of the additive of sodium polyacrylate. The information environment of the University, 2017, no. 1 (1), pp. 416–418.
4. Fedosov S.V., Akulova M.B., Slizneva T.E. Research of regularity of a structure formation in the cement stone mixed by the mechanoactivated water with the polyvinyl acetate admixture, 2017, no. 2, pp. 117–122.
5. Lesovik R.V. To the choice of man-made sand to obtain a composite binders and fine-grained concretes. *Concrete Technologies*, 2015, no. 1-2, pp. 60–63.
6. Alfimova N.I., Koval'chenko O.V., Kalatozi V.V. Fine-grained concrete and composite binders, technogenic raw materials. Complex use of technogenic raw materials: monograph. Saarbrücken: LAP LAMBERT. 2017, 137 p.
7. Lukuttsova N.P., Pashayan A.A., Khomyakova E.N., Suleymanova L.A., Kleymenicheva Yu.A. The use of additives based on industrial wastes for concrete. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2016, no. 11, pp. 7566–7570.
8. Bazhenov Yu.M., Alimov L.A., Voronin V.V. Structure and properties of concrete with nanomodifiers based on technogenic waste: monograph. Moscow: MGSU, 2013, 204 p.
9. Nizina T.A., Balykov A.S., Volodin V.V., Korovkin D.I. Fiber fine-grained concretes with polyfunctional modifying additives. *Magazine of Civil Engineering*, 2017, no. 4, pp. 73–83. DOI: 10.18720/MCE.72.9.
10. Lesovik R.V., Ageeva M.S., Kazlitina O.V., Sopin D.M., Mitrochin A.A. Revisiting the structure optimization of high strength fiber concrete through the use of nanodisperse modifier. *Bulletin of ESSUTM*, 2017, no. 4 (67), pp. 64–70.
11. Nurtdinov R.M., Soloviev V.G., Buryanov A.F. Fine Concretes Modified with AlOOH and Al₂O₃ Nanofibers. *Building materials*, 2015, no. 2, pp. 68–71.
12. Lukuttsova N.P., Ustinov A.G. Concrete modified by additive based on biosilicated nanotubes. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2015, vol. 10, no. 19, pp. 40457–40460.
13. Yanakhmetov M.R., Chuykin A.E., Massalimov I.A. Pore structure modification of cement concretes by impregnation with sulfur-containing compounds. *Nanotechnologies in Construction*, 2015, vol. 7, no. 1, pp. 63–72. DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-1-63-72.
14. Strokova V.V., Ogurtsova Y.N., Botsman L.N. Epicrystal modification of construction composites of different purpose with application of granulated nanostructured aggregate. *Nanotechnologies in Construction*, 2016, vol. 8, no. 5, pp. 42–59. DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2016-8-5-42-59.
15. Lukuttsova N.P., Pykin A.A. Stability of nanodisperse additives based on metakaolin. *Glass and Ceramics*, 2015, no. 11–12, pp. 383–386.

Information about the author

Natalya P. Lukuttsova, DSc, Professor.

E-mail: natluk58@mail.ru

Bryansk Technological University of Engineering.
Russia, 241037, Bryansk, st. Stanke Dimitrova, 3.

Alexey A. Pykin, PhD, Assistant professor.

E-mail: alexem87@yandex.ru

Bryansk Technological University of Engineering.
Russia, 241037, Bryansk, st. Stanke Dimitrova, 3.

Alena A. Baranova, Postgraduate student.
E-mail: aly-spodenejko@yandex.ru
Bryansk Technological University of Engineering.
Russia, 241037, Bryansk, st. Stanke Dimitrova, 3.

Received in June 2018

Для цитирования:

Лукутцова Н.П., Пыкин А.А., Баранова А.А. Высокопрочный мелкозернистый бетон с мультикомпонентным наноимпрегнатом алюмосиликатного состава // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №9. С. 6–14. DOI: 10.12737/article_5bab4a1716b568.75074339

For citation:

Lukuttsova N.P., Pykin A.A., Baranova A.A. High-strength fine-grained concrete with a multicomponent nonimpregnated aluminosilicate composition. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 9, pp. 6–14. DOI: 10.12737/article_5bab4a1716b568.75074339