

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-5-18-24

Абзалилова А.В., Строкова В.В.Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова***E-mail: alina.ishchenko.92@mail.ru*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЕНЕТРИРУЮЩЕЙ ДОБАВКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТИ БЕТОНА¹

Аннотация. Проникновение влаги в капиллярно-пористую структуру бетона приводит к развитию коррозионных процессов, образованию высолов, снижению прочности и последующему разрушению цементно-песчаного композита. При этом повышенная влажность конструкции является благоприятной средой для развития различных биоповреждений (плесени, грибков, лишайников), что, в свою очередь, приводит как к снижению эксплуатационных характеристик сооружения, так и к потере эстетического вида фасада здания. В связи с этим большой интерес представляет исследование возможности повышения водонепроницаемости бетона путем уплотнения его структуры. В статье рассмотрено влияние пенетрирующей добавки на физико-механические характеристики мелкозернистого бетона и фибробетона. Установлено, что введение пенетрирующей добавки в состав цементно-песчаных композитов приводит к заполнению капиллярно-пористой структуры материалов нитевидными игольчатыми новообразованиями, что позволяет увеличить их сопротивляемость воздействию влаги, а именно повысить марку по водонепроницаемости, уменьшить глубину проникновения воды в структуру бетона, увеличить контактный угол смачивания поверхности материала. Также отмечено, что одновременное введение в состав бетона пенетрирующей добавки и фиброволокна позволяет не только повысить водонепроницаемость композита, но и улучшить гидрофобные показатели за счет придания материалу иерархической структуры поверхности.

Ключевые слова: бетон, фибробетон, пенетрон, фибра, водонепроницаемость.

Введение. Проблема загрязненных фасадов зданий является актуальной так как ее решение внесет существенный вклад в сохранение архитектурного облика города в целом. Загрязнения не только портят внешний вид, но и отрицательно сказываются на долговечности отделочных материалов. Чаще всего одной из причин разрушения материалов внешней отделки является воздействие влаги, а на примере фасадных материалов – это одна из наиболее важных причин в связи с постоянным воздействием окружающей среды. Воздействие влаги на фасадные материалы ведет к растрескиванию штукатурок, появлению микроорганизмов и биоповреждений на поверхности. Это не только негативно влияет на эксплуатационные характеристики и архитектурную выразительность, но и вредит здоровью человека [2–6].

В зависимости от сложности конструкции не всегда есть возможность очистить фасад здания, кроме того, это затратно с экономической точки зрения. В таких случаях целесообразным будет применение материалов с повышенными водоотталкивающими характеристиками. Одним из традиционных способов защиты поверхности

строительных материалов на основе цемента от воздействия влаги является придание поверхности шероховатости за счет создания иерархической структуры поверхности [7–11]. Для этого, как правило, в цементно-песчаную матрицу вводятся мелкодисперсные либо волокнистые частицы различного происхождения, которые, выступая на поверхности бетона, придают ей рельеф. Однако ввиду того, что поверхность традиционного цементного бетона характеризуется присутствием пор и капилляров, важным также является уплотнение бетонной матрицы с целью повышения ее водонепроницаемости и, как следствие, гидрофобности [12–14]. При введении пенетрирующей добавки в состав композита происходит заполнение капиллярно-порового пространства за счет повышения доли этtringита в цементном камне, образованного в результате реакции с продуктами гидратации цементного камня [15–19].

На основании вышеизложенного целью данной работы являлось изучение влияния пенетрирующей добавки на физико-механические характеристики фибробетона и мелкозернистого бетона, как контрольного состава.

Материалы и методы. Для изучения влияния пенетрирующей добавки на водонепроницаемость цементно-песчаных композиционных материалов с различной структурой поверхности были подготовлены образцы мелкозернистого бетона и фибробетона. Для этого были использо-

¹Результаты экспериментальных исследований, представленные в статье, были отражены при защите диссертационной работы «Разработка и коллоидно-химические свойства гидрофобизирующей эмульсии полисилоксана», состоявшейся 29 марта 2019 г. [1].

ваны следующие сырьевые компоненты. Вяжущее – цемент марки ЦЕМ I 42,5 Н производства ЗАО «Белгородский цемент», мелкий заполнитель – кварцевый песок Вяземского месторождения Смоленской области. Соотношение массы цемента к кремнеземистому компоненту составило 1:3, В/Ц=0,7. Для формирования иерархической структуры поверхности бетона применялась фибра на основе поливинилового спирта (ПВС-фибра) производства ООО «Курарай», Япония, г. Осака. Дозировка фибры составила 3 %. В качестве пенетрирующей добавки была использована гидроизоляционная добавка в бетон «Пенетрон Адмикс» производства ЗАО «Завод гидроизоляционных материалов «Пенетрон», Россия, г. Екатеринбург. Дозировка модификатора была выбрана в соответствии с рекомендациями производителя и составила 1 % от массы цемента. Добавка была введена в бетонную смесь вместе с водой затворения, что соответствует ТУ 5745-001-77921756-2006. Для этого «Пенетрон Адмикс» добавляли в воду и тщательно перемешивали в течение 1–2 минут, после чего производили формование образцов по стандартной технологии.

Водонепроницаемость бетона определяли на образцах-кубах с размером ребра 150 мм ускоренным методом по воздухопроницаемости при помощи прибора типа АГАМА–2РМ согласно ГОСТ 12730.5–84 «Бетоны. Методы определения водонепроницаемости». Также показатели водонепроницаемости бетона были определены при помощи прибора Controls фирмы «TESTING Bluhm & Feuerherdt GmbH» в соответствии с евро стандартом EN 12390–8, разработанным на базе стандарта Международной организации по стандартизации ISO–7031 «Бетон. Метод определения проницаемости воды под давлением». Для проведения испытаний на приборе Controls образцы бетона помещались в устройство, где на них в течение 72 ч производилась подача воды

под давлением на уровне 500±50 кПа. После чего образцы раскалывали на прессе и просушивали таким образом, чтобы была видна линия проникновения воды. Затем при помощи карандаша и линейки измеряли глубину проникновения воды в образец.

Изучение микроструктурных особенностей композита производили при помощи сканирующего электронного микроскопа Mira 3 FesSem (Tescan, Чехия) в режиме высокого вакуума (InBeam) с использованием катода Шоттки высокой яркости.

Прочность при сжатии была определена на образцах-кубах с размерами ребер 100x100x100 мм в соответствии с ГОСТ 10180–2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».

Контактный угол смачивания определяли при помощи прибора для измерения контактного угла смачивания Kruss DSA 30. Для измерений в качестве тестовой жидкости была использована дистиллированная вода.

Основная часть. В ходе исследования образцов мелкозернистого бетона и фибробетона по ускоренной методике при помощи прибора АГАМА–2РМ установлено, что введение пенетрирующей добавки снижает пористость бетонной матрицы, увеличивая тем самым сопротивляемость бетона воздействию влаги (табл. 1). Использование фибры незначительно увеличивает марку бетона по водонепроницаемости (W 6) по сравнению с контрольным составом (W 4). Введение в состав фибробетона пенетрирующей добавки в количестве 1 % позволяет повысить водонепроницаемость композита (до W 10) по сравнению с мелкозернистым бездобавочным бетоном на 60 %. Добавление пенетрона к цементно-песчаной композиции без использования фиброволокна также увеличивает его сопротивляемость воздействию воды (W 8).

Таблица 1

Характеристика образцов МЗБ по водонепроницаемости в зависимости от состава

| Характеристика образца | Образец | | | |
|--|---------|------------|------------------------------------|---|
| | МЗБ | Фибробетон | МЗБ с пенетрирующей добавкой (1 %) | Фибробетон с пенетрирующей добавкой (1 %) |
| Марка бетона по водонепроницаемости, W | 4 | 6 | 8 | 10 |
| Глубина проникновения воды, см | 11,2 | 6,3 | 5,0 | 4,2 |
| Прочность на сжатие, МПа | 15,4 | 15,8 | 16,3 | 18,1 |
| Контактный угол смачивания, ° | 41,4 | 52,7 | 63,9 | 79,2 |

Анализ данных, полученных при помощи прибора Controls фирмы «TESTING Bluhm &

Feuerherdt GmbH» показал, что наименьшей водонепроницаемостью обладает мелкозернистый

бетон без каких-либо добавок (табл. 1). Это объясняется наличием в композите капиллярной пористости, которая ускоряет перенос воды вглубь бетона и увеличивает степень его пропитки. Насыщение материала влагой ведет к ускорению процессов сульфатной коррозии и последующему разрушению материала.

Введение в состав фиброволокна позволяет снизить степень пропитки бетона в два раза. Это может объясняться тем, что фибра, равномерно распределяясь по объему композиции, заполняет

межзерновое пространство, тем самым формируя более плотную упаковку матрицы. После введения пенетрирующей добавки также наблюдается снижение глубины проникновения воды в структуру композита, что свидетельствует о заполнении пор бетона кристаллами новообразований. Сравнивая показатели фибробетона и фибробетона с пенетрирующей добавкой, расхождение между глубиной проникновения воды является незначительным – 6,3 и 4,2 см соответственно (рис. 1).

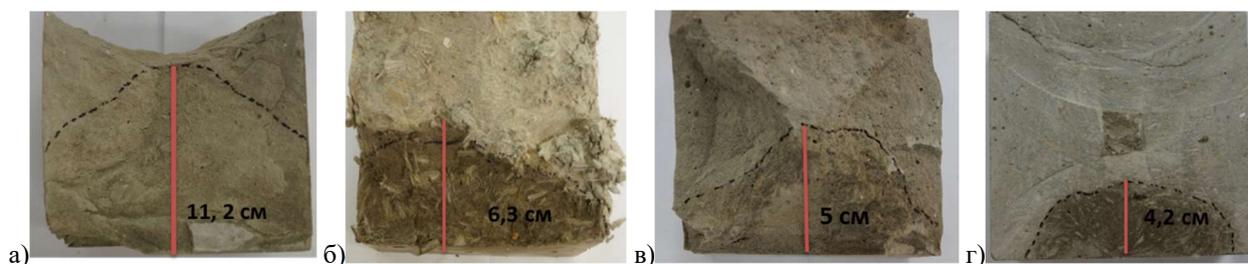


Рис. 1. Глубина проникновения воды в структуру бетона в зависимости от состава: а) МЗБ, б) фибробетон, в) МЗБ с пенетрирующей добавкой (1 %), г) фибробетон с пенетрирующей добавкой (1 %)

Для объяснения такого небольшого расхождения в глубине проникновения воды в фибробетон с пенетрирующей добавкой и без, дополнительно была исследована микроструктура бетонной матрицы (рис. 2).

На микрофотографиях бездобавочного мелкозернистого бетона отчетливо видна его равномерная зернистость, пористость и трещины, сформированные в результате препарирования (подготовки образца для съемки на РЭМ путем откалывания). При введении в состав пенетрирующей добавки в порах идентифицируются нитевидные кристаллы новообразований, затягивающих пустоты структуры цементно-песчаной матрицы [20–22]. Микроструктура мелкозернистого бетона, имеющего в своем составе фиброволокно, более плотная по сравнению с контрольным составом, но все же обладает небольшими трещинами технологического характера. Также важно отметить, что пенетрирующая добавка, помимо заполнения порового пространства новообразованиями, способствует обрастанию поверхности нитей фибры аллотриоморфными (не имеющими очертаний, свойственных их кристаллической решётке) продуктами гидратации, за счет чего улучшается адгезия фибры с цементной матрицей. Все это делает структуру фибробетона с пенетрирующей добавкой более плотной, за счет чего она лучше сопротивляется воздействию воды по сравнению с остальными составами.

При исследовании прочности на сжатие у образцов мелкозернистого бетона отмечено небольшое увеличение показателей при введении пенетрирующей добавки, составляющее 6 % ($R_{сж}=16,3$ МПа) (табл. 1). При этом у образцов фибробетона при введении пенетрирующего

компонента прирост прочности составил 15 % ($R_{сж}=18,1$ МПа).

В связи с тем, что уплотнение бетона проводилось с целью повышения его защитных характеристик по отношению к воде, был произведен анализ гидрофобных качеств композита. Для этого были выполнены измерения контактного угла смачивания исследуемых образцов бетона.

Анализ полученных данных показал, что наименьшими значениями контактного угла смачивания ($KУ=41,4$ °) обладают образцы мелкозернистого бетона (табл. 1). Введение в состав волокон фибры позволяет повысить гидрофобные показатели за счет создания развитой иерархической поверхности бетона ($KУ=52,7$ °). После добавления пенетрирующего компонента в состав цементно-песчаной композиции наблюдается увеличение значения контактного угла смачивания на 54 % ($KУ=63,9$ °). Это объясняется тем, что на поверхности бетона, как и в его объеме образуются нитевидные кристаллы, создавая тем самым микро- и наношероховатость, за счет которой формируется иерархическая структура поверхности, как и в случае с фиброй. Благодаря тому, что пенетрирующая добавка снижает пористость композита, данный состав обладает лучшими показателями по сравнению с фибробетоном. При одновременном введении фибрового и пенетрирующего компонента показатели гидрофобности достигают максимальных значений по сравнению со всеми изучаемыми составами ($KУ=79,2$ °). Так по сравнению с мелкозернистым бетоном контактный угол смачивания увеличивается на 91 %, а по сравнению с фибробетоном – на 50 %. Это вызвано тем, что микро- и наношероховатость формируется не

только путем введения фиброволокна, но и благодаря использованию пенетрирующей добавки, которая, как и в структуре бетона, так и на поверхности выходящей наружу фибры, образует нитевидные кристаллы, создающие дополни-

тельную иерархию поверхности. Также повышение показателей гидрофобности у образца фибробетона с пенетрирующей добавкой происходит за счет заполнения пор новообразованиями, что приводит к снижению капиллярного подсоса композита.

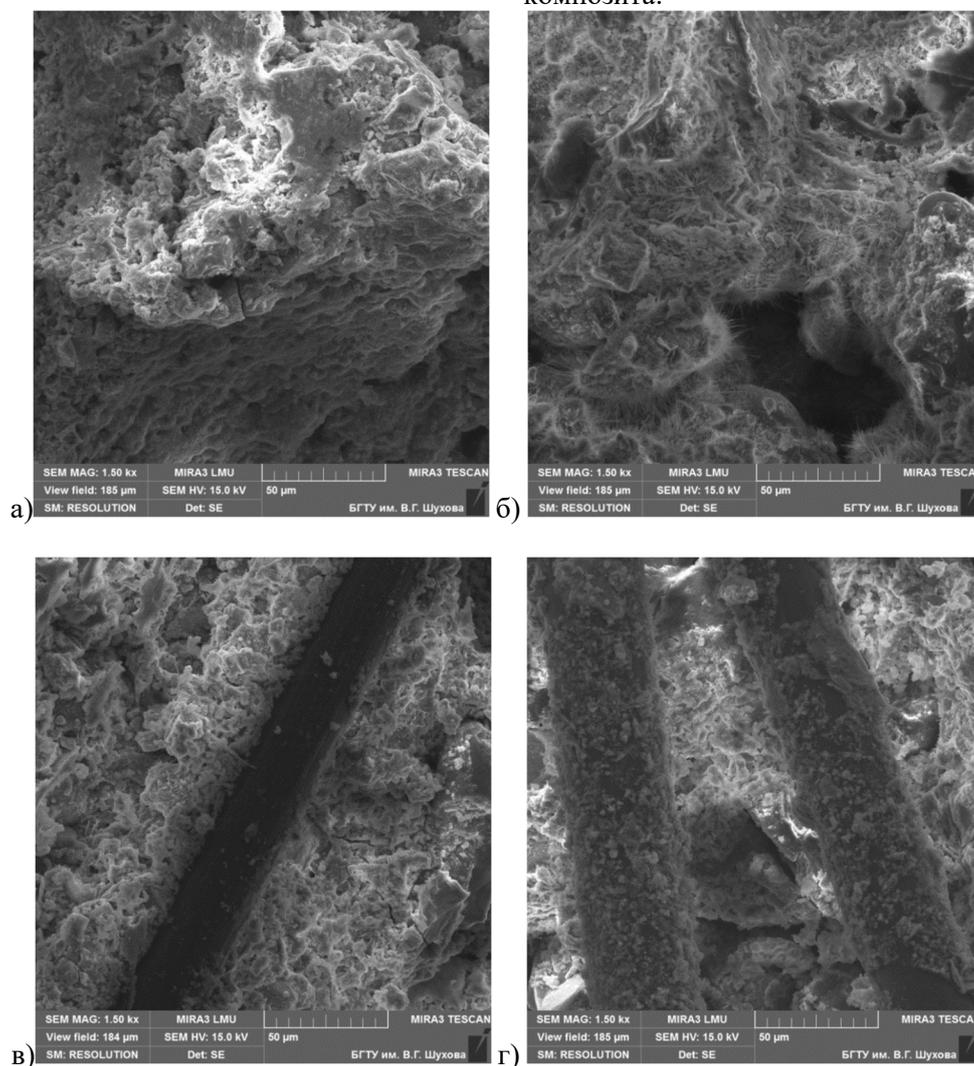


Рис. 2. Микроструктура мелкозернистого бетона:
а) МЗБ, б) МЗБ с пенетрирующей добавкой (1 %), в) фибробетон,
г) фибробетон с пенетрирующей добавкой (1 %)

Выводы. Таким образом, использование пенетрирующей добавки для уплотнения капиллярно-пористой структуры бетона позволяет повысить физико-механические характеристики композита, тем самым увеличив его сопротивляемость проникновению влаги. Одновременное использование пенетрирующей добавки и фиброволокна позволяет повысить прочность и водостойкость бетона, тем самым увеличив его плотность и сопротивляемость проникновению влаги. Сравнивая фибробетон с пенетрирующей добавкой в количестве 1 % с остальными, исследуемыми в работе, стоит отметить, что данный состав обладает наилучшими показателями контактного угла смачивания ($KY=79,2^\circ$), прочности ($R_{сж}=18,1$ МПа) и водонепроницаемости (W 10).

Источник финансирования. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-29-12011 с использованием оборудования Центра Высших Технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ищенко А.В. Разработка и коллоидно-химические свойства гидрофобизирующих эмульсий полисилоксана: дис. ... канд. техн. наук. Белгород, 2019. 198 с.
2. Ondrejka Harbulakova V., Estokova A., Stevulova N., Luptakova A. Different aggressive media influence related to selected characteristics of concrete composites investigation // International Journal of Energy and Environmental Engineering. 2014.

Vol. 5. Is. 2–3. Pp. 1–6. doi:10.1007/s40095-014-0082-8.

3. Łowińska-Kluge A., Horbik D., Zgoła-Grzeškowiak A., Stanisławski E., Górski Z. A comprehensive study on the risk of biocorrosion of building materials // *Corrosion Engineering Science and Technology*. 2015. Vol. 52. Is. 1. Pp. 13–21. doi:10.1080/1478422X.2016.1174326.

4. Chromková I., Čechmánek R. Influence of biocorrosion on concrete properties // *Key Engineering Materials*. 2018. Vol. 760 KEM. Pp. 83–90. doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.760.83.

5. Harbulakova V.O., Estokova A., Luptakova, A., Smolakova M. Impact of concrete's curing process on its biocorrosive resistance // *International Journal of Mechanics*. 2019. Vol. 13. Pp. 79–83.

6. Mejía E., Tobón J.I., Osorio W. Urban structure degradation caused by growth of plants and microbial activity // *Materiales de Construcción*. 2019. Vol. 69. Is. 333. doi:10.3989/mc.2019.09517.

7. Кожухова М.И., Фомина Е.В., Фомин А.Е. Фракталы как иерархический принцип организации в строительном материаловедении // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2018. № 7. С. 18–23.

8. Abdulhussein A.T., Kannarpady G.K., Wright A.B., Ghosh A., Biris Al.S. Current trend in fabrication of complex morphologically tunable superhydrophobic nano scale surfaces // *Applied Surface Science*. 2016. Vol. 384. P. 311–322.

9. Zhang M., Feng Sh., Wang L., Zheng Y. Lotus effect in wetting and self-cleaning // *Biotribology*. 2016. Vol. 5. P. 31–43.

10. Lei L., Wang Q., Xu S., Wang N., Zheng X. Fabrication of superhydrophobic concrete used in marine environment with anti-corrosion and stable mechanical properties // *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 251. doi: 10.1016 / j.conbuildmat.2020.118946.

11. Karthick S., Park D.-J., Lee Y.S., Saraswathy V., Lee H.-S., Jang H.-O., Choi H.-J. Development of water-repellent cement mortar using silane enriched with nanomaterials // *Progress in Organic Coatings*. 2018. Vol. 125. Pp. 48–60.

12. Лесовик В.С., Урханова Л.А., Федюк Р.С. Вопросы повышения непроницаемости фибробетонов на композиционном вяжущем // *Вестник ВСГУТУ*. 2016. № 1. С. 5–10.

13. Матвеева Е.Г., Королева Е.Л. Фибробетон с добавкой нанодисперсного кремнезема // *Вестник МГСУ*. 2013. № 3. С. 140–146.

14. Кожухова М.И., Чулкова И.Л., Хархардин А.Н., Соболев К.Г. Оценка эффективности применения гидрофобных водных эмульсий с содержанием нано- и микро размерных частиц для модификации мелкозернистого бетона // *Строительные материалы*. 2017. № 5. С. 92–97.

15. Балакин Д.В., Ермолаев Д.А., Исаков П.Ю., Карнет Ю.Н. Использование гидроизоляционной добавки «Пенетрон Адмикс» для исключения внешней гидроизоляции подземных железобетонных конструкций // *Промышленное и гражданское строительство*. 2017. № 2. С. 55–59.

16. Киценко Т.П., Губарь В.Н., Балакин Д.В., Каширин А.В. Влияние гидроизоляционной добавки «Пенетрон Адмикс» на формирование структуры и свойства бетона // *Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры*. 2018. № 4–2 (132). С. 199–202.

17. Zheng K., Yang X., Chen R., Xu L. Application of a capillary crystalline material to enhance cement grout for sealing tunnel leakage // *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 214, Pp. 497–505. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.04.095.

18. Yang X.-H., Zheng K.-L., Xu L.-X. Experiment on Effect of Capillary Crystalline Material Additives on Cement Slurry Performance // *Zhongguo Gonglu Xuebao/China Journal of Highway and Transport*. 2019. Vol. 32. Is. 7. Pp. 129–135, 157. doi: 10.19721/j.cnki.1001-7372.2019.07.014.

19. Nizina T.A., Ponomarev A.N., Balykov A.S., Pankin N.A. Fine-grained fibre concretes modified by complexed nanoadditives // *International Journal of Nanotechnology*. 2017. Vol. 14. Is. 7–8. Pp. 665–679. doi: 10.1504/IJNT.2017.083441.

20. Капустин Ф.Л., Спиридонова А.М., Помазкин Е.П. Применение проникающей гидроизоляции для повышения коррозионной стойкости цементного камня // *БСТ: Бюллетень строительной техники*. 2015. Вып. 975. № 11. С. 56–59.

21. Kapustin F.L., Pomazkin E.P. Effect of Waterproofing Penetrating Capillary Mixture on Concrete Waterproofness and Cement Stone Microstructure // *Power Technology and Engineering*. 2018. Vol. 52. Is. 2. Pp. 168–171. doi: 10.1007/s10749-018-0927-z.

22. Никишкин В.А. Микроструктура цементного камня и ее влияние на водонепроницаемость и прочность бетона // *Гидротехническое строительство*. 2012. № 11. С. 14–17.

Информация об авторах

Абзалилова Алина Валентиновна, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры материаловедения и технологии материалов. E-mail: alina.ishchenko.92@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Строкова Валерия Валерьевна, доктор технических наук, заведующий кафедрой материаловедения и технологии материалов. E-mail: vvstrokova@gmail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 27.03.2020

© Абзалилова А.В., Строкова В.В., 2020

**Abzalilova A.V., Stroкова V.V.*

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

**E-mail: alina.ishchenko.92@mail.ru*

USE OF A PENETRATING ADDITIVE TO INCREASE THE WATER RESISTANCE OF CONCRETE

Abstract. *The penetration of moisture into the capillary-porous structure of concrete leads to the development of corrosion processes, the formation of efflorescence, the decrease in strength and the subsequent destruction of the cement-sand composite. At the same time, the increased humidity of the structure is a favorable environment for the development of various biological damages (mold, fungi, lichens), which, in turn, leads to decrease in the operational characteristics of the structure and loss of the aesthetic appearance of the building facade. In this regard, the study of possibility of increasing the water resistance of concrete by compaction of its structure is of great interest. The article considers the influence of a penetrating additive on the physical and mechanical characteristics of fine-grained concrete and fiber concrete. It is established that the introduction of a penetrating additive into the composition of cement-sand composites leads to the filling of the capillary-porous structure of materials with needle-like new formations that can increase their resistance to moisture influence, namely, to increase the waterproof grade, to reduce the depth of water penetration into the concrete structure, to increase the contact angle of wetting the surface of the material. It is also noted that the simultaneous introduction of a penetrating additive and fiber into the concrete composition allows to increase the water resistance of the composite and to improve hydrophobic performance by imparting a hierarchical surface structure to the material.*

Keywords: *concrete, fiber-reinforced concrete, penetron, fiber, water resistance.*

REFERENCES

1. Ischenko A.V. Development and colloid-chemical properties of hydrophobizing polysiloxane emulsions [Razrabotka i kolloidno-himicheskie svoystva gidrofobiziruyushchih emul'sij polisiloksana]: Thesis for the degree of cand. of tech. sciences. Belgorod, 2019. 198 p. (rus)
2. Ondrejka Harbulakova V., Estokova A., Stevulova N., Luptakova A. Different aggressive media influence related to selected characteristics of concrete composites investigation. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*. 2014. Vol. 5. Is. 2–3. Pp. 1–6. doi:10.1007/s40095-014-0082-8.
3. Łowińska-Kluge A., Horbik D., Zgoła-Grzeškowiak A., Stanisław E., Górski Z. A comprehensive study on the risk of biocorrosion of building materials. *Corrosion Engineering Science and Technology*. 2015. Vol. 52. Is. 1. Pp. 13–21. doi:10.1080/1478422X.2016.1174326.
4. Chromková I., Čechmánek R. Influence of biocorrosion on concrete properties. *Key Engineering Materials*. 2018. Vol. 760 KEM. Pp. 83–90. doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.760.83.
5. Harbulakova V.O., Estokova A., Luptakova, A., Smolakova M. Impact of concrete's curing process on its biocorrosive resistance. *International Journal of Mechanics*. 2019. Vol. 13. Pp. 79–83.
6. Mejía E., Tobón J.I., Osorio W. Urban structure degradation caused by growth of plants and microbial activity. *Materiales de Construcción*. 2019. Vol. 69. Is. 333. doi: 10.3989/mc.2019.09517.
7. Kozhukhova M.I., Fomina E.V., Fomin A.E. Fractals as a principle of hierarchical structure formation in construction materials science [Fraktaly kak ierarhicheskij princip organizacii v stroitel'nom materialovedenii]. *Bulletin of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*. 2018. № 7. Pp. 18–23. (rus)
8. Abdulhussein A.T., Kannarpady G.K., Wright A.B., Ghosh A., Biris Al.S. Current trend in fabrication of complex morphologically tunable superhydrophobic nano scale surfaces. *Applied Surface Science*. 2016. Vol. 384. Pp. 311–322.
9. Zhang M., Feng Sh., Wang L., Zheng Y. Lotus effect in wetting and self-cleaning. *Biotribology*. 2016. Vol. 5. P. 31–43.
10. Lei L., Wang Q., Xu S., Wang N., Zheng X. Fabrication of superhydrophobic concrete used in marine environment with anti-corrosion and stable mechanical properties. *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 251. doi: 10.1016 / j.conbuildmat.2020.118946.
11. Karthick S., Park D.-J., Lee Y.S., Saraswathy V., Lee H.-S., Jang H.-O., Choi H.-J. Development of water-repellent cement mortar using

silane enriched with nanomaterials. *Progress in Organic Coatings*. 2018. Vol. 125, Pp. 48–60.

12. Lesovik V.S., Urkhanova L.A., Fediuk R.S. Issues of improvement leaks fiber-reinforced concrete on composite binders [Voprosy povysheniya nepronicaemosti fibrobetonov na kompozicionnom vyazhushchem]. *Bulletin of East Siberia State University of Technology and Management*. 2016. № 1. Pp. 5–10. (rus)

13. Matveeva E.G., Koroleva E.L. Fibre concrete having a nanodisperse silica additive [Fibrobeton s dobavkoj nanodispersnogo kremnezema]. *Vestnik MGSU*. 2013. № 3. Pp. 140–146. (rus)

14. Kozhukhova M.I., Chulkova I.L., Kharkhardin A.N., Sobolev K.G. Estimation of Application Efficiency of Hydrophobic Water-Based Emulsions Containing Nano and Micro-Sized Particles for Modification of Fine Grained Concrete [Ocenka effektivnosti primeneniya gidrofobnyh vodnyh emul'sij s sodержaniem nano- i mikrorazmernyh chastic dlya modifikacii melkozernistogo betona]. *Stroitel'nye Materialy*. 2017. № 5. Pp. 92–97. (rus)

15. Balakin D.V., Ermolaev D.A., Isakov P.Yu., Karnet Y.N. The use of waterproofing additive «Penetron Admix» for exclusion of external waterproofing of underground reinforced concrete structures [Ispol'zovanie gidroizolyacionnoj dobavki «Penetron Admix» dlya isklyucheniya vneshnej gidroizolyacii podzemnyh zhelezobetonnyh konstrukcij]. *Industrial and civil engineering (Promyshlennoe i Grazhdanskoe Stroitel'stvo)*. 2017. № 2. Pp. 55–59. (rus)

16. Kitsenko T.P., Gubar V.N., Balakin D.V., Kashirin A.V. Influence of a waterproofing additive «Penetron Admix» on formation of structure and properties of concrete [Vliyanie gidroizolyacionnoj dobavki «Penetron Admix» na formirovanie

struktury i svojstva betona]. *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*. 2018. № 4–2 (132). Pp. 199–202. (rus)

17. Zheng K., Yang X., Chen R., Xu L. Application of a capillary crystalline material to enhance cement grout for sealing tunnel leakage. *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 214, Pp. 497–505. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.04.095.

18. Yang X.-H., Zheng K.-L., Xu L.-X. Experiment on Effect of Capillary Crystalline Material Additives on Cement Slurry Performance. *Zhongguo Gonglu Xuebao/China Journal of Highway and Transport*. 2019. Vol. 32. Is. 7. Pp. 129–135, 157. doi: 10.19721/j.cnki.1001-7372.2019.07.014.

19. Nizina T.A., Ponomarev A.N., Balykov A.S., Pankin N.A. Fine-grained fibre concretes modified by complexed nanoadditives. *International Journal of Nanotechnology*. 2017. Vol. 14. Is. 7–8. Pp. 665–679. doi: 10.1504/IJNT.2017.083441.

20. Kapustin F.L., Spiridonova A.M., Pomazkin E.P. Application of the getting waterproofing for increase of corrosion resistance of a cement stone [Primenenie pronikayushchej gidroizolyacii dlya povysheniya korrozionnoj stojkosti cementnogo kamnya]. *BST: Building Equipment Bulletin*. 2015. Iss. 975. № 11. Pp. 56–59. (rus)

21. Kapustin F.L., Pomazkin E.P. Effect of Waterproofing Penetrating Capillary Mixture on Concrete Waterproofness and Cement Stone Microstructure. *Power Technology and Engineering*. 2018. Vol. 52. Is. 2. Pp. 168–171. doi: 10.1007/s10749-018-0927-z

22. Nikishkin V.A. The microstructure of cement stone and its effect on the waterproofing and strength of concrete [Mikrostruktura cementnogo kamnya i ee vliyanie na vodonepronicamost' i prochnost' betona]. *Gidrotekhnicheskoe Stroitel'stvo*. 2012. № 11. Pp. 14–17. (rus)

Information about the authors

Abzalilova, Alina V. PhD. E-mail: alina.ishchenko.92@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Strokova, Valeria V. DSc, Professor. E-mail: vvstrokova@gmail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 27.03.2020

Для цитирования:

Абзалилова А.В., Строчкова В.В. Использование пенетрирующей добавки для повышения водонепроницаемости бетона // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 5. С. 18–24. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-5-18-24

For citation:

Abzalilova A.V., Strokova V.V. Use of a penetrating additive to increase the water resistance of concrete. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2020. No. 5. Pp. 18–24. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-5-18-24