

Ссылка для цитирования:

Утегенов Б. Б., Шаяхмедов Р. И., Кокарев А. М. Промывка песка для бетонной смеси с использованием поверхностно-активных веществ в аппарате вихревого смешения // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАOU АО ВО «АГАСУ», 2022. № 3 (41). С. 43–47.

УДК 66.021.3
DOI 10.52684/2312-3702-2022-41-3-47-51

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ БИОТЫ НА БЕТОН

С. А. Логинова, А. А. Петренко

Логинова Светлана Андреевна, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций, Ярославский государственный технический университет, г. Ярославль, Российская Федерация, тел.: +79066171227; e-mail: sl79066171227@yandex.ru;

Петренко Анна Андреевна, студент, Ярославский государственный технический университет, г. Ярославль, Российская Федерация, тел.: +79290762010; e-mail: greatann-2002@yandex.ru

Актуальность проблемы коррозионного разрушения строительных материалов и конструкций, последние десятилетия остается на прежнем уровне. Безопасность строительных объектов в первую очередь зависит от физического состояния конструкций. К настоящему времени кардинальных мер по антикоррозионной защите строительных материалов не существует. Цель исследования – определение степени развития различных видов микроорганизмов и воздействия их на физико-механические свойства бетона. Оценка возможности бетона служить субстратом для различных видов биодеструкторов проводилась с помощью определения влагопоглощения и pH водной вытяжки бетонных образцов. Экспериментально установлен механизм воздействия различных микроорганизмов на бетон. Определен таксономический состав наиболее агрессивных к бетону микроорганизмов. Проведена оценка влияния биообрастания на физико-механические свойства бетона. Результаты исследования служат основой для грамотного подбора наиболее эффективных методов антикоррозионной защиты бетонных конструкций, эксплуатирующихся в биологически агрессивных средах.

Ключевые слова: биологическая коррозия, биостойкость, бетон, водоросли, бактерии, грибы.

RESEARCH ON THE IMPACT OF BIOTA ON CONCRETE

S. A. Loginova, A. A. Petrenko

Loginova Svetlana Andreyevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Building Structures, Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russian Federation, phone: +79066171227; e-mail: sl79066171227@yandex.ru;

Petrenko Anna Andreyevna, student, Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russian Federation, tel.: +79290762010; e-mail: greatann-2002@yandex.ru

The urgency of the problem of corrosion destruction of building materials and structures has remained at the same level for the last decades. The safety of construction objects primarily depends on the physical condition of the structures. To date, there are no cardinal measures for the anti-corrosion protection of building materials. Objective – determination of the degree of development of various types of microorganisms and their effect on the physical and mechanical properties of concrete. Assessment of the possibility of concrete to serve as a substrate for various types of biodestructors was carried out using the determination of moisture absorption and pH of water drawing of concrete samples. Experimental mechanism of action of various microorganisms on concrete is established. Taxonomic composition of microorganisms most aggressive to concrete is determined. The impact of biofouling on the physical and mechanical properties of concrete was assessed. The results of the investigation serve as the basis for competent selection of the most effective methods of corrosion protection of concrete structures operating in biologically aggressive environments.

Keywords: biological corrosion, bioavailability, concrete, algae, bacteria, mushrooms.

Введение. В настоящее время бетон является самым широкоприменяемым материалом в строительстве. Несмотря на то, что впервые бетон применили в эпоху расцвета Римской империи, этот материал, благодаря своим уникальным свойствам, был и остается одним из самых часто используемых [1–3]. В коррозионно-агрессивных средах бетоны подвержены разрушению и преждевременному старению. Одной из самых малоизученных видов коррозии бетона по-прежнему остается биологическая коррозия [4]. Поэтому, изучение коррозионных процессов, развивающихся в бетоне под воздействием различных микроорганизмов, не теряет своей актуальности и по сей день. К настоящему времени выделяют три вида биологической коррозии бетона: бактериальную, водорослевую и грибковую.

Исследования коррозионного разрушения бетона вызваны необходимостью повышения долговечности и надежности бетонных и железобетонных конструкций; потребностью разработки мер по предупреждению аварийных ситуаций; существенными материальными потерями от коррозионной деградации бетона; проблемой загрязнения окружающей среды продуктами коррозии и метаболитами микроорганизмов-деструкторов [5, 6].

Постановка задачи. Биокоррозия бетона – многофакторный процесс, кинетика которого зависит от видового разнообразия биодеструкторов, ряда абиотических факторов и свойств самого бетона. Успешное исследование биологической коррозии бетона возможно только на

основе основательного изучения физико-химических процессов, развивающихся в бетоне в результате их повреждения микроорганизмами.

Методы исследования. Изучение биологического разрушения бетона проводилось в соответствии с требованиями государственных стандартов (ГОСТ 27677) методом сравнения параметров, характеризующих коррозионную стойкость бетонных образцов, подверженных биообрастанию, со значениями показателей, характерными для контрольных бетонных образцов [7].

В соответствии с требованиями государственных стандартов (ГОСТ 28206-89) экспериментальные образцы предварительно обрабатывались питательным раствором, способствующим развитию водорослей, бактерий и грибов. Механизмы всех видов биологической коррозии бетонов сводятся к физико-химическим процессам, которые протекают в результате выделения кислых продуктов метаболизма микроорганизмами. Поэтому для исследования механизмов различных видов биокоррозии бетона были выбраны следующие методы: определение влагопоглощения бетона по массе и по объему, регистрация изменения pH водной вытяжки бетона потенциометрическим методом с помощью pH-метра/иономер Анион-4100. Для определения таксономического состава биоповреждений брались соскобы с поверхности бетонных образцов. Электронная микроскопия проводилась с помощью микроскопа Meiji Techno (Япония) [8, 9].

Обсуждение результатов. На биостойкость исследовались бетонные образцы, часть из которых не имели визуально определяемого биологического загрязнения. Методом электронной микроскопии на всех образцах было обнаружено биоповреждение (рис. 1).

На образцах, подверженных водорослевой коррозии, был обнаружен налет зеленого цвета с сероватыми включениями, которые хорошо видны невооруженным глазом. Методом электронной микроскопии на поверхности бетона были зафиксированы большие скопления водорослей (рис. 1 а, б). С помощью определителей [10–12] был установлен таксономический состав биоты, а именно, водоросли родов *Gloeocapsa*, *Chlorococcum*, *Chlorella* (рис. 2). Водоросли производят кислород в качестве побочного продукта фотосинтеза. Их синезеленый цвет обусловлен наличием хлорофилла и фикоцианина, поэтому иногда их называют синезелеными водорослями.

Поверхность бетонных образцов, подверженных бактериальной коррозии, была сильно повреждена. Методом световой микроскопии и с помощью определителей [10–12] удалось идентифицировать палочковидные бактерии.

В ходе эксперимента было зафиксировано, что основными возбудителями бактериальной коррозии при длительной эксплуатации бетона являются представители рода *Vacillus*.

При грибковой коррозии поверхность бетонных образцов была сильно разрушена и покрыта

беловато-серым налетом с черными включениями в углублениях (рис. 1 д, е). Таксономический состав микромицетов показал наличие в пробах грибов родов: *Mucor*, *Penicillium*, *Aspergillus* (рис. 3). Грибы гетеротрофны, не имеют хлорофилла, поэтому зависят от доступных органических веществ. Они прикрепляются к поверхности субстрата и обычно выглядят как пушистые пятна серого, зеленого, черного или коричневого цвета [13].

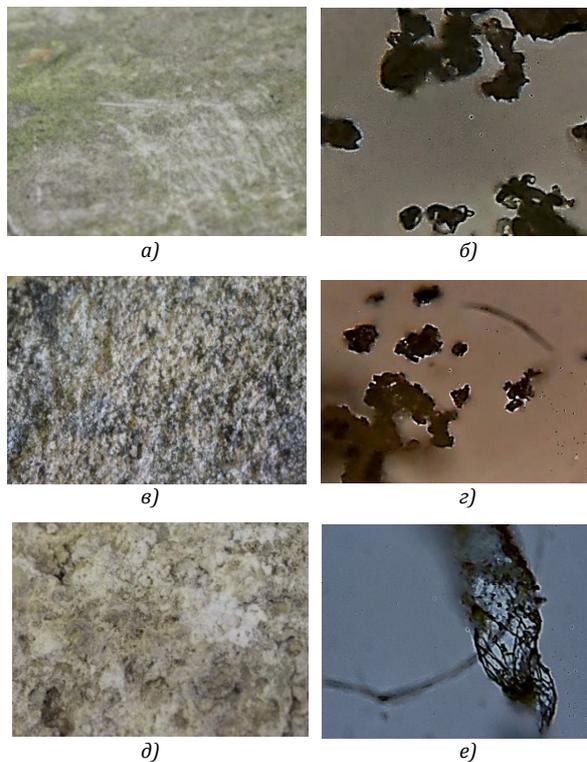


Рис. 1. Поверхность бетонного образца при: а) водорослевой коррозии; б) бактериальной коррозии; в) грибковой коррозии; г, д, е) увеличении 300 крат



Рис. 2. Водоросли: а) под *Gloeocapsa*; б) под *Chlorococcum*; в) под *Chlorella*

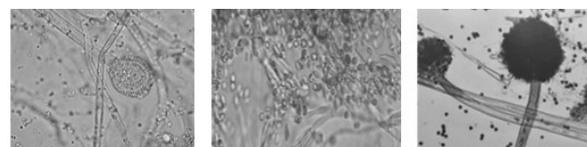


Рис. 3. Грибы: а) под *Mucor*; б) под *Penicillium*; в) под *Aspergillus*

Исходя из экспериментальных данных, можно прийти к выводу, что в качестве наиболее агрессивных биодеструкторов к бетону выступают именно грибки и бактерии. В тоже время, на некоторых образцах были обнаружены скопления, как бактерий, так и грибов. Этот факт косвенно подтверждает утверждение о том, что микроорганизмы чаще всего образуют биоценозы. Как правило,

первыми в этих сообществах появляются хемолитотрофные бактерии, которые способны получать аденозинтрифосфорную кислоту в результате использования энергии, выделяющейся при реакциях окисления-восстановления неорганического субстрата – бетона. Образующиеся в результате жизнедеятельности хемолитотрофных бактерий скопления органических веществ, служат субстратом для жизнедеятельности грибов [14–16].

Процесс обрастания поверхности бетона можно разделить на пять стадий [17]:

- 1) формирование биопленки на поверхности бетона в короткие сроки;
- 2) отложение одноклеточных микроорганизмов;
- 3) колонизация;
- 4) вторичное отложение более высокого уровня микроорганизмов;
- 5) непрерывное увеличение биомассы на поверхности бетона с элементами отмирания некоторых микроорганизмов.

Скорость образования биопленки может быть различной. Согласно литературным источникам, биопленка может образовываться за считанные минуты при контакте субстрата с водой, содержащей различные метаболиты [18–23].

С целью изучения степени воздействия на бетон различных видов микроорганизмов был проведен ряд исследований по определению водопоглощения бетонных образцов по массе. Результаты приведены на рисунке 4.

Водопоглощение бетона отдельного образца по массе определяли по формуле:

$$W_M = \frac{m_c - m_b}{m_c} \times 100, \% \quad (1)$$

где W_M – водопоглощение образца по массе, %; m_c – масса высушенного образца, г; m_b – масса водонасыщенного образца, г.

Водопоглощение образцов бетона по массе для контрольных образцов составило – 11,41 %, для образцов, подверженных водорослевой коррозии, – 13,66 %, для образцов, поврежденных бактериальной и грибковой коррозией, – 16,71 % и 19,84 % соответственно. Из графика видно, что бактериальная и грибковая коррозия приводят к значительному увеличению водопоглощения по массе.

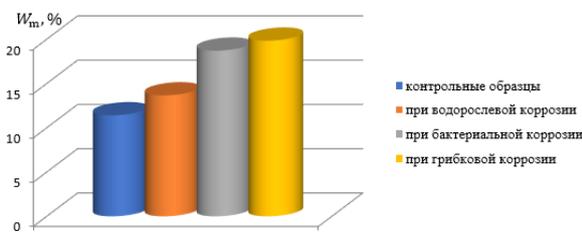


Рис. 4. Водопоглощение бетона по массе W_M , %

Из рисунка 5 видно, что образцы при грибковом и бактериальном поражении, насыщались водой уже на первые сутки выдержки в то время, как контрольные образцы и образцы,

подвергавшиеся водорослевой коррозии, достигали постоянной массы на вторые–третьи сутки выдерживания в воде. Характер кривой изменения скорости водопоглощения по массе образцов, подвергавшихся водорослевой коррозии, практически повторял кривую, описывающую данный процесс для контрольной серии образцов. Описанные на рисунке 5 процессы могут быть следствием различной пористости и плотности образцов. Большой объем и размер пор образцов, подвергавшихся грибковому и бактериальному воздействию, служит прямым доказательством большей агрессивности к бетону грибов и бактерий, нежели водорослей.

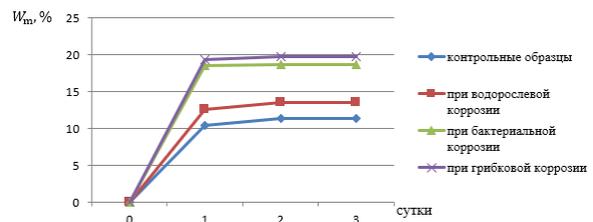


Рис. 5. Изменение скорости водопоглощения по массе

Наряду с этим, был проведен ряд экспериментов по определению водопоглощения образцов по объему.

Водопоглощение образцов бетона по объему определяли по формуле:

$$W_o = \frac{W_M \times \rho_o}{\rho_v} \quad (2)$$

где W_o – водопоглощение образца по объему, %; W_M – водопоглощение образца по массе, %; ρ_o – плотность сухого бетона, кг/м³; ρ_v – плотность воды, принимаемая равной 1 г/см³.

В образцах, подвергавшихся водорослевой коррозии, не выявлено достоверных изменений водопоглощения по объему, по сравнению с контрольной серией образцов. Бактериальная и грибковая коррозия сопровождалась значительным увеличением водопоглощения по объему образцов бетона (рис. 6).

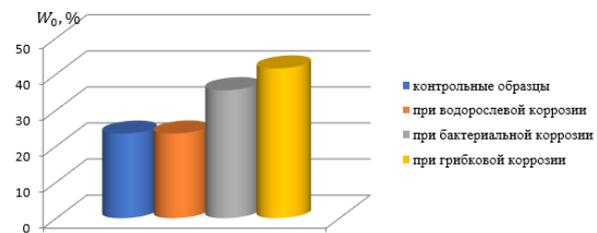


Рис. 6. Изменение водопоглощения бетона по объему

Увеличение водопоглощения бетона по объему у образцов, подвергавшихся воздействию бактерий и грибов, подтверждает высокую степень агрессивности данных биологических агентов. Как следствие, повышение пористости и уменьшение плотности бетона, приводит к потере прочности, что отчетливо видно на рисунке 7.

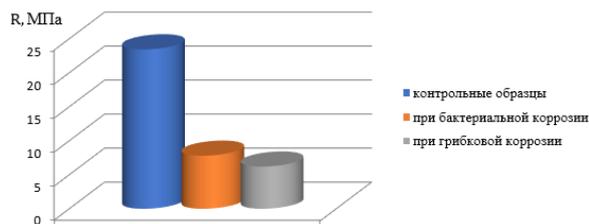


Рис. 7. Изменение прочности на сжатие бетонных образцов

Экспериментально полученные значения рН водной вытяжки образцов позволили определить степень коррозионной активности различных биодеструкторов (бактерий, грибов, водорослей). Результаты представлены на рисунке 8.

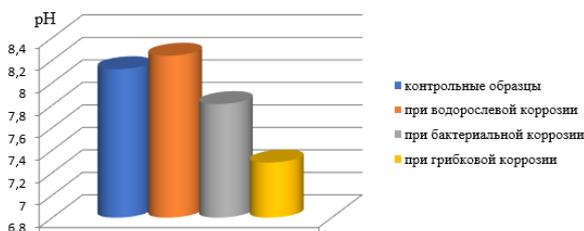


Рис. 8. Значения рН водной вытяжки бетонных образцов

Уменьшение рН водной вытяжки бетонных образцов свидетельствует о том, что бактерии и грибы, по сравнению с водорослями, более

агрессивны к бетону, за счет своих метаболитов, которые, в основном, представлены органическими кислотами (щавелевой, лимонной, янтарной и т. д.). Органические кислоты выступают в качестве катализаторов коррозионного разрушения бетона. Из рисунка 8 видно, что рН водной вытяжки при бактериальной и грибковой коррозии ниже контрольных значений.

Вывод

1. Наиболее опасными биодеструкторами по отношению к бетону являются грибы и бактерии.

2. При биокоррозии бетона основной причиной его деструкции является действие на него продуктов жизнедеятельности микроорганизмов, представляющих собой смесь органических кислот.

3. Воздействие на бетон водорослей, бактерий и грибов сопровождается увеличением его пористости и снижением плотности, что приводит к значительному ухудшению физико-механических характеристик бетона.

4. Защита бетона от биоповреждений возможна путем своевременной обработки поверхности материала различными противомикробными составами и путем получения бетонов пониженной пористости.

Библиографический список

- Семенов, С.А. Биоповреждения материалов и изделий техники // Вестник МИХТ. – 2007. – Т.2. – №6. – С.3-26.
- Ерофеев, В.Т. Биокоррозия цементных бетонов, особенности ее развития, оценки и прогнозирования / В.Т. Ерофеев, А.П. Федорцов, А.Д. Богатов, В.А. Федорцов // Фундаментальные исследования. 2014. – №12. – С.708-716.
- Иванов, С.Н. Биоповреждения в строительстве. Стройиздат, 1984. – 320 с.
- Соломатов, В.И. Микроорганизмы разрушители материалов и изделий / В.И. Соломатов, В.Т. Ерофеев, Е.А. Морозов // Изв. вузов. Строительство. – 2001. – №8. – С. 4 – 12
- Чеснокова, Т.В. Моделирование процесса биоразрушения бетона на предприятиях текстильной промышленности / Т. В. Чеснокова, В.Е. Румянцева, С.А. Логинова // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2020. – № 1 (385). – С. 206-212.
- Дергунова, А.В. Микробиологическая стойкость строительных материалов / А.В. Дергунова, Д.А. Светлов, В.Т. Ерофеев, В.Ф. Смирнов // Приволжский научный журнал. – 2009. – №2(10). – С. 108-113
- Чеснокова, Т.В. Оценка влияния различных видов биологической коррозии на бетон / Т.В. Чеснокова, В.А. Киселев // Сб. материалов III Всеросс. научно-практич. конф. с междунар.уч. «Актуальные вопросы естествознания» Иваново, ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная Академия ГПС МЧС России. – 2018. – С.68.
- Fedosov, S. Mathematical model of concrete biological corrosion / S. Fedosov, S. Loginova // Magazine of Civil Engineering. – 2020. – № 7 (99). – С. 9906. DOI: 10.18720/MCE.99.6.
- Строганов, В.Ф. Метод испытания минеральных строительных материалов на биостойкость в модельных агрессивных средах / В.Ф.Строганов, Д.А.Куколева, Л.Р. Бараева // Вестник Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2011. – №3. – С. 153 – 161.
- Стейниер, Р. Мир микробов / Р. Стейниер, Э. Эдельберг, Дж. Ингрэм / в 3 т. М.: Мир, 1979, Т.1, 320 с., Т.2, 334 с., Т.3. – 486 с.
- Определитель бактерий Берджи: в 2 т. / [Р. Беркли и др.]; под ред. Дж. Хоулта и др.; пер. с англ. под ред. Г. А. Заварзина. М.: Мир, 1997. – 432 с.
- Красильников, Н.А. Определитель бактерий и актиномицетов // Акад. наук СССР. Ин-т микробиологии. - Москва, Ленинград: Изд-во и 2-я тип. Изд-ва Акад. наук СССР, 1949. - 832 с.
- Чеснокова, Т.В. Анализ воздействия биологической коррозии различной длительности на бетон / Т.В. Чеснокова, С.А. Логинова, В.А. Киселев // Сб материалов Инженерно-технические науки – машиностроение и технологии «Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение». – 2018. – №2. – С.98.
- Adnan M., Alshammari E., Patel M., Amir Ashraf S., Khan S., Hadi S. Significance and potential of marine microbial natural bioactive compounds against biofilms / M. Adnan, E. Alshammari, M. Patel, S. Amir Ashraf, S. Khan, S. Hadi // biofouling: necessity for green chemistry. – 2018. PeerJ6:e5049 <https://doi.org/10.7717/peerj.5049>
- Chai, W. Experimental study on predicting service life of concrete in the marine environment / W. Chai, W. Li, H. Ba // Open Civil Eng. J. – 2011. – V. 5. – P. 93 – 99. DOI:10.2174/1874149501105010093
- De Muynck W. Microbial carbonate precipitation in construction materials: a review / De Muynck W., De Belie N., and Verstraete W. // Ecological Engineering. – 2010. – 36(2). – P. 118 – 136
- Mardhiah, Ismail. Statistical Investigation on Anaerobic Sulphate-Reducing Bacteria Growth by Turbidity Method / Mardhiah Ismail, Norhazilan Md Noor, Nordin Yahaya, Akrima Abu Bakar, Muhammad Khairool Fahmy Mohd Ali, Arman Abdullah // International Journal of Biological Chemistry. – 2015. – 9 (4). – P. 178 – 187. DOI: 10.3923/ijbc.2015.178.187
- Рахимбаев, Ш.М. Кинетика процессов кольматации при химической коррозии цементных систем // Бетон и железобетон. – 2012. – № 6. – С. 16 – 17

19. Логинова, С.А. Моделирование кинетики и динамики протекания массопереноса при различных видах коррозии цементных бетонов / С.А. Логинова, И.Н. Гоглев // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2020. – № 6 (99). – С. 22-35. DOI: 10.23859/1994-0637-2020-6-99-2
20. Сысоев, А. К. Влияние модификаторов на стойкость металлоконструкций // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань: ГАОУ АО ВО «АГАСУ». – 2018. – № 3 (25). – С. 5–6.
21. Pepe, O. Heterotrophic microorganisms in deteriorated medieval wall paintings in southern Italian churches / O. Pepe, L. Sannino, S. Palomba, M. Anastasio, G. Blaiotta, F. Villani, G. Moschetti // Microbiological Research. – 2010. – №165(1). – Pp. 21–32. DOI: 10.1016/j.micres.2008.03.005
22. Mullard, J.A. Corrosion-induced cover cracking: New test data and predictive models / J.A. Mullard, M.G. Stewart // ACI Structural Journal. – 2011. – №108(1). – Pp. 71–79. DOI: 10.14359/51664204
23. Москвичева, А. В. Разработка мероприятий по снижению коррозии оборудования водохозяйственного комплекса / А. В. Москвичева, Е. В. Федулова, А. Ю. Гильгенберг, О. В. Коновалов, Г. Л. Гиззатова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань: ГАОУ АО ВО «АГАСУ». – 2021. – № 4 (38). – С. 36 – 40. DOI 10.52684/2312-3702-2021-38-4-36-40

© С. А. Логинова, А. А. Петренко

Ссылка для цитирования:

Логинова С. А., Петренко А. А. Исследование воздействия биоты на бетон // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2022. № 3 (41). С. 47–51.

УДК 665.775.4

DOI 10.52684/2312-3702-2022-41-3-51-56

ВЗАИМОСВЯЗЬ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЛАСТИФИКАТОРОВ И СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНО-БИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ

А. А. Адоньева, П. А. Лукьянец, Н. А. Лушников, А. С. Покатаев, Н. И. Савенкова, В. Е. Николаевский, Д. Ю. Небрятенко

Адоньева Анна Алексеевна, заместитель начальника лаборатории по органическим вяжущим, ООО «Совместное предприятие "Автобан"», г. Москва, Российская Федерация, тел.: +7(915)006-31-58; e-mail: lab_dss@mail.ru;

Лукьянец Павел Артемович, магистрант, МИРЭА – Российский технологический университет, г. Москва, Российская Федерация, тел.: +7(977)488-65-90; e-mail: drakoniche2000@mail.ru;

Лушников Николай Александрович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Автомобильные дороги, аэродромы, основания и фундаменты, Российский университета транспорта, г. Москва, Российская Федерация, тел.: +7(915)224-19-64; e-mail: Lab10@mail.ru;

Покатаев Александр Сергеевич, начальник лаборатории, ООО Совместное предприятие «Автобан», г. Москва, Российская Федерация, тел.: +7(915)495-14-13; e-mail: denkovo_lab@autobahn-group.com;

Савенкова Надежда Ивановна, заместитель генерального директора, ООО «Совместное предприятие "Автобан"», г. Москва, Российская Федерация, тел.: +7(495)626-51-16; e-mail: lab@autobahn-group.com;

Николаевский Владимир Евстафьевич, кандидат военных наук, доцент кафедры «Автомобильные дороги, аэродромы, основания и фундаменты», Российский университета транспорта, г. Москва, Российская Федерация, тел.: +7-917-564-42-06, e-mail: ve_nikolaevskiy@mail.ru

Небрятенко Дмитрий Юрьевич, кандидат химических наук, доцент кафедры «Автомобильные дороги, аэродромы, основания и фундаменты», Российский университета транспорта, доцент кафедры «Химии и технологии переработки эластомеров» МИРЭА-Российский технологический университет, г. Москва, Российская Федерация, тел.: +7-916-936-35-81, e-mail: nebratenko@mail.ru

Данное исследование является продолжением цикла работ, проводимых исследовательским сектором производственной лаборатории СП ООО «Автобан» и ряда образовательных университетов РФ по совершенствованию состава битумных дорожных вяжущих, изготавливаемых на производственной площадке в п. Деньково (Московская область) и используемых для производства асфальтобетонных и полимерасфальтобетонных смесей. Ранее было сообщено о разработанном методе промораживания (А.С.П.П.) и возможности оценки с его помощью качественных показателей товарных и нетоварных нефтепродуктов в условиях производственного предприятия. Продолжением данного направления является количественная оценка технологических и эксплуатационных показателей битумных вяжущих, полученных с применением широкой группы товарных и нетоварных нефтепродуктов. Разработаны и оптимизированы составы модельных полимерно-битумных вяжущих, проведена оценка их технических и технологических свойств в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52056-2003, показательно характеризующая влияние компонентного состава пластификатора на эксплуатационные свойства итоговых вяжущих.

Ключевые слова: пластификаторы широкого спектра действия, битумы нефтяные дорожные, полимерно-битумные дорожные вяжущие (ПБВ), бутадиен-стирольные термоэластопласты.