

К.Ю. Тюрюханов¹, К.Г. Пугин^{1,2}, В.К. Пугина¹¹Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия²Пермский государственный аграрно-технологический университет
имени академика Д.Н. Прянишникова, Пермь, Россия

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

Представлены различные направления использования ресурсного потенциала техногенных материалов, полученных в результате деятельности предприятий различных отраслей промышленности при получении композиционных строительных материалов. Показано, что техногенные материалы являются ценным и востребованным сырьем и обладают различным функциональным назначением в структуре композиционного материала. Исследования в области модифицирования и улучшения физико-механических, физико-химических характеристик полидисперсных, полиминеральных, органоминеральных композиционных материалов являются актуальной темой для строительной и дорожно-строительной отрасли и материаловедения в целом.

Рассмотрены примеры использования ресурсного потенциала металлургических шлаков, зол уноса, отходов хризотила химических производств. Шлаки находят применение в качестве крупного минерального заполнителя в асфальтобетонах и цементобетонах. Продукты сжигания твердого топлива в большом количестве используются в качестве минерального порошка в составе асфальтобетонной смеси, отходы переработки хризотила – в качестве армирующего компонента в органоминеральных полидисперсных композиционных материалах. Наряду с известными отходами наиболее перспективными и вызывающими большой интерес являются твердые бытовые отходы в виде различных пластмасс и автомобильных покрышек, в силу своих характеристик позволяют повысить долговечность и прочность автомобильных покрытий, не прибегая к удорожанию конечного продукта. Представлены результаты лабораторных испытаний образцов асфальтобетона, полученного на основе отработанной формовочной смеси. Исследования, проведенные на базе Пермского национального исследовательского политехнического университета, позволили разработать эффективный состав асфальтобетона. Полученные результаты лабораторных испытаний позволили определить зависимость изменения физико-механических характеристик от процентного содержания отработанной формовочной смеси, а также оптимальное соотношение отработанной формовочной смеси и органического вяжущего. Установлено, что отработанную формовочную смесь возможно использовать взамен традиционных мелких минеральных заполнителей в составе органоминеральных композиционных строительных материалов.

Ключевые слова: асфальтобетон, техногенные материалы, строительство, физико-механические характеристики, отработанная формовочная смесь, металлургические шлаки.

K.Y. Tyuryukhanov¹, K.G. Pugin^{1,2}, V.K. Pugina¹¹Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation²Perm State Agro-Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov,
Perm, Russian Federation

EXPERIENCE OF USING TECHNOGENIC MATERIALS IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY

In the article various ways of using the resource potential of technogenic materials obtained as a result of the activities of various industries in the production of composite building materials are presented. It is proved that technogenic materials are valuable and sought-after raw materials and have different functional purposes in the structure of composite material. The studies in the area of modifying and improving the physical-mechanical and physical-chemical characteristics of polydisperse, polymineral and organomineral composite materials are an urgent issue for the road construction industries and science of materials as a whole.

Examples of using the resource potential of metallurgical slag, fly ash, chrysotile waste from chemical industries are discussed. Slag is used as a large mineral aggregate in asphalt concrete and cement concrete. Solid fuel combustion products in large quantities are used as mineral powder in the composition of the asphalt mix. Chrysotile processing waste is used as a reinforcing component in organomineral polydisperse composite materials. Along with the known types of waste, the most

promising and of great interest is municipal solid waste in the form of various plastics and car tires; due to their characteristics they can increase the durability and strength of car coatings without increasing the cost of the final product. The results of laboratory studies of testing samples of asphalt concrete obtained on the basis of waste molding sand are presented. The studies were carried out on the basis of the Perm National Research Polytechnic University. The studies conducted allowed developing an effective composition of asphalt concrete. The obtained laboratory test results made it possible to identify patterns of changes in the physical and mechanical characteristics of the percentage of waste molding sand and to determine the optimal ratio of spent molding sand and organic binder. It was established that is possible to use waste molding sand instead of traditional small mineral aggregates in the composition of organomineral composite building materials.

Keywords: asphalt concrete, technogenic materials, construction, physical and mechanical characteristics, waste molding sand, metallurgical slag.

В настоящее время в связи с повсеместным использованием большегрузной, многотоннажной техники в дорожно-строительной отрасли (автомобили для возведения уникальных зданий и сооружений, транспортные средства, осуществляющие доставку сборных и специальных грузов и т.д.) остро встает вопрос создания автомобильных покрытий, которые способны воспринимать не только нагрузки от природно-климатических факторов (дождь, снег, солнечная радиация), но и статические и динамические нагрузки от подвижного состава, быть высокотехнологичными, отвечающими всем необходимым государственным стандартам. Существующие разработки и научные исследования, посвященные улучшению прочностных характеристик автомобильных покрытий, находят следующие затруднения и ограничения при внедрении их на практике:

- ♦ отмечается дефицит и, как следствие, высокая стоимость модифицирующего вещества, способствующего улучшению физико-механических, эксплуатационных характеристик асфальтобетона;
- ♦ отсутствует поддержка Министерства транспорта, а также вышестоящего административного корпуса, в создании новых дорожно-транспортных магистралей, построенных с использованием новых дорожно-строительных материалов;
- ♦ отсутствует нормативная база, где установлен порядок и территориальные разрешения использования того или иного высокоэффективного модифицирующего компонента в составе асфальтобетона;
- ♦ исследования в области применения техногенных материалов в строительной, дорожно-строительной отрасли ограничиваются лабораторными испытаниями и не находят широкого применения на практике;
- ♦ не все регионы Российской Федерации обеспечены кондиционными минеральными инертными материалами, и дефицит таких материалов приводит к существенному удорожанию строительства за счет транспортировки их из соседних регионов, либо происходит снижение качества автодорожного покрытия, за счет использования местного некачественного сырья, яркий тому пример улично-дорожная сеть Волгограда и Волгоградской области.

Однако рассмотренные выше трудности практического использования модифицирующих добавок не останавливают научные исследования в области строительного материаловедения. Исследования в области модифицирования и улучшения физико-механических, физико-химических характеристик полидисперсных, полиминеральных, органоминеральных композиционных материалов являются актуальной задачей для строительной индустрии в целом.

Альтернативным способом улучшения физико-механических, физико-химических, эксплуатационных характеристик является использование техногенных материалов в составе полидисперсных, полиминеральных композиционных конструкций, которые в силу своего образования являются дармовыми и при научном и практическом обосновании не только не повлияют на конечную стоимость, но и дадут возможность достичь удешевления строительства. Исследованиями в этой области занимались как отечественные, так и зарубежные ученые. Разработанные технологии использования ресурсного потенциала отходов в первую очередь направлены на замещение инертных минеральных материалов (природных, традиционно используемых) в составе

композиционных строительных материалов. В частности, к таким отходам можно отнести металлургические шлаки и шламы, золы уноса, отходы переработки хризотила, различных химических производств. Как правило, они не вступают в химические реакции с другими компонентами композиционных материалов, при этом достигаются заданные прочностные и эксплуатационные показатели конечного продукта.

Металлургические шлаки – это неметаллический многокомпонентный материал, получаемый в результате восстановления руды и металлургических процессов, например, расплавления исходного сырья, а также при обработке промежуточных продуктов. В основном шлаки используются как альтернатива природным каменным минеральным материалам – щебню и гравиию. По своим физико-механическим свойствам они не уступают, а в некоторых случаях превосходят традиционные каменные материалы. Использование шлаков позволяет сократить в два раза расходы на сырьевые материалы природного происхождения. Щебень из шлака находит свое применение в несущих слоях дорожной одежды. Одной из особенностей активных металлургических шлаков является тот факт, что при затворении с водой происходит процесс цементирования в однородный монолитный слой, с увеличенной несущей способностью [1–5].

Использование металлургического шлака в составе дорожных композитных материалов позволяет увеличить несущую способность, межремонтные сроки, сократить расходы, связанные с закупкой каменных материалов, а также негативное влияние на окружающую среду.

Золы уноса представляют собой тонкодисперсный порошок с размером частиц менее 0,14 мм. Применение золы уноса возможно при производстве асфальтобетонной смеси, с замещением традиционно используемого минерального порошка. Возможно также использование в слое земляного полотна, с учетом большей удельной поверхности, сравнимой с цементами [6–8].

Хризотил представляет собой минерал, относящийся к слоистым силикатам, распространенное название – хризотил-асбест, размер волокон которого составляет от 10 до 100 мкм, прочностные характеристики на разрыв этих волокон составляют от 600 до 800 МПа, что сравнимо с прочностью стали. Наличие на поверхности положительных электронных зарядов способствует более прочным хемосорбционным связям данного материала и органического вяжущего [9, 10].

Ряд отходов вовлекается в производство композиционных материалов для изменения свойств вяжущего компонента. К таким отходам можно отнести резиновую крошку, получаемую в результате измельчения автомобильных покрышек, и различные виды пластмасс. Они способны улучшить органическое вяжущие, используемые в производстве асфальтобетонов.

Большие объемы пластмассы (пластиковые бутылки, полиэтиленовые пакеты, ПВХ-материалы), которые оказывают негативное влияние на окружающую среду, также в настоящее время рассматриваются как эффективный модификатор вяжущего. Одним из перспективных направлений использования пластмасс и автомобильных покрышек является их применение в конструкции автомобильных дорог. Данные отходы обладают высокой деформативной устойчивостью, что является существенным преимуществом перед природными материалами [11–13].

Наиболее перспективным направлением замещения природных (традиционных) сырьевых компонентов композиционных строительных материалов является поиск промышленных отходов, которые могут обладать свойствами, позволяющими управлять структурой композиционного материала в широких пределах, тем самым управлять физико-механическими и эксплуатационными свойствами получаемого строительного материала. Одним из таких крупнотоннажных отходов является отработанная формовочная смесь (ОФС). Это побочный продукт сталелитейной промышленности, представляет собой сыпучий материал темно-коричневого цвета, основой является кварцевый песок, смолы фенолформальдегида, затвердитель. При взаимодействии поверхности частиц кварцевого песка со смолами фенолформальдегида и затвердителя под воздействием высоких температур (1300–1700 °C) происходит процесс форми-

рования поверхностного слоя, который характеризуется лучшими хемосорбционными свойствами при взаимодействии с органическим вяжущим. Результаты исследований представлены в работах [14–20].

Впервые на базе Пермского национального исследовательского политехнического университета (кафедра «Автомобильные дороги и мосты» строительного факультета) проводились исследования в области использования ОФС в составе асфальтобетонной смеси взамен традиционно применяемых мелких минеральных заполнителей.

При исследовании поверхности частиц ОФС установлено, что удельная поверхность повышается по сравнению с кварцевым песком в 2,5 раза, увеличено в 4 раза содержание углерода, поверхность имеет более шероховатую и пористую структуру. Данные изменения позволили характеризовать ОФС как структурообразующий материал в составе асфальтобетона.

При проведении лабораторных исследований образцов асфальтобетона, полученных с использованием ОФС, были установлены закономерности изменения физико-механических характеристик, результаты представлены на рис. 1–3.

В результате лабораторных исследований установлено оптимальное содержание ОФС в составе асфальтобетона, оно составляет от 10 до 15 %, при содержании битума от 5,0 до 5,3 % сверх 100 % минеральной части.

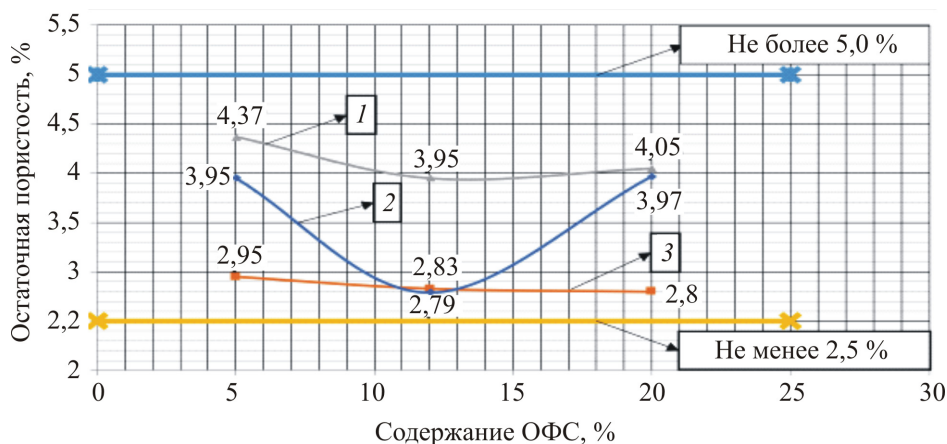


Рис. 1. Остаточная пористость при разном содержании ОФС:
кривая 1 – содержание битума 4,4 %; кривая 2 – содержание битума 5,0 %;
кривая 3 – содержание битума 5,6 %

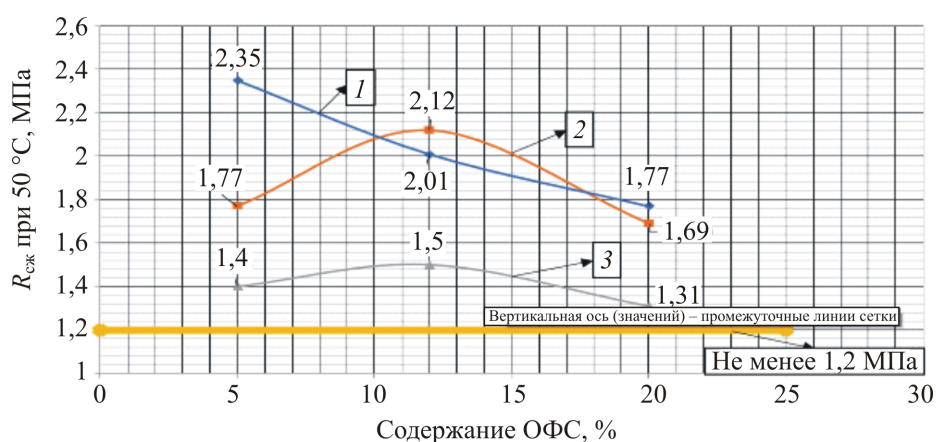


Рис. 2. Предел прочности при сжатии при 50 °C при разном содержании ОФС:
кривая 1 – содержание битума 4,4 %; кривая 2 – содержание битума 5,0 %;
кривая 3 – содержание битума 5,6 %

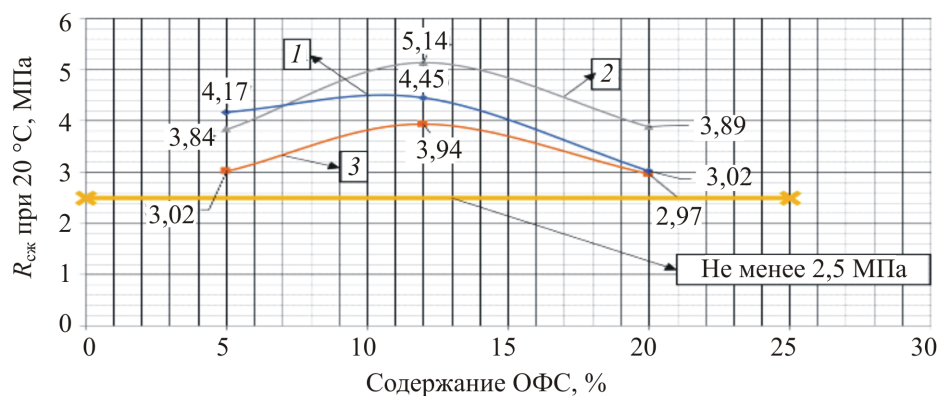


Рис. 3. Предел прочности при сжатии при 20 °С с разным содержанием ОФС:
 кривая 1 – содержание битума 4,4 %; кривая 2 – содержание битума 5,0 %;
 кривая 3 – содержание битума 5,6 %

Таким образом, в заключение можно сделать вывод, что в ходе технологического процесса образования техногенных продуктов их физико-механические, физико-химические свойства могут в значительной степени отличаться от исходного состояния. Поиск новых сырьевых компонентов, особенно способных в широком интервале изменять свойства конечного продукта, является актуальной задачей для строительной и дорожно-строительной отрасли. За счет внедрения новых материалов происходит не только расширение номенклатуры сырьевой базы, но и уменьшение техногенной нагрузки на окружающую среду. Проведенные исследования свойств асфальтобетона, в составе которого использована ОФС, показали возможность получения эффективных составов с достижением экономических и экологических выгод.

Список литературы

1. Эффективное использование пород шахтных отвалов в дорожном строительстве / А.Г. Доля, Д.А. Шатворян, Д.В. Смирнова, И.П. Жуков // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2017. – № 2 (124). – С. 94–101.
2. Гусев Б.В., Набоков А.Н., Щеблыкина Т.П. Оценка эффективности применения кондиционной минеральной добавки на основе золошлаковых смесей ТЭС в технологии производства бетонов // Технологии бетонов. – 2015. – № 5–6 (106–107). – С. 38–41.
3. Sustainable solutions for road pavements: A multi-scale characterization of warm mix asphalts containing steel slags / M. Pasetto, A. Baliello, G. Giacomello, E. Pasquini // Journal of Cleaner Production. – 10 November 2017. – Vol. 166. – P. 835–843.
4. Arabani M., Mirabdolazimi S.M. Experimental investigation of the fatigue behaviour of asphalt concrete mixtures containing waste iron powder // Materials Science and Engineering: A. – 25 April 2011. – Vol. 528, iss. 10–11. – P. 3866–3870.
5. Применение электросталеплавильных шлаков в конструкциях нежестких дорожных одежд: монография / А.С. Погромский, Г.С. Духовный, Т.В. Аниканова, Ш.М. Рахимбаев. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2018. – 100 с.
6. Осмонова Б.Ж. Эколого-экономическая целесообразность применения золы уноса в дорожном строительстве // Universum: технические науки. – 2016. – № 7 (28). – С. 13.
7. Бальжинимаева М.З., Слободчикова Н.А. Применение золошлаковых материалов в дорожном строительстве // Взаимодействие науки, образования и производства: сб. тр. по материалам Всерос. науч.-практ. конф. – 2018. – С. 19–33.
8. Laboratory studies to examine the properties of a novel cold-asphalt concrete binder course mixture containing binary blended cementitious filler / A. Dulaimi, H.A. Nageim, F. Ruddock, L. Seton // Journal of Materials in Civil Engineering. – 2017. – Vol. 29 (9).
9. Кручинин И.Н., Дедюхин А.Ю. Возможности изменения физико-механических характеристик активированных минеральных порошков // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. – Т. 1. – С. 447–449.

10. Патент РФ № 2601327 С1, 10.11.2016. Способ получения стабилизирующей добавки для щебеночно-мастичного асфальтобетона (варианты). Заявка № 2015132714/05 от 05.08.2015 / Литвинов А.А., Мазепа П.В.
11. Дорожное покрытие из пластика / В.С. Медведев, А.С. Токарев, П.А. Панин, М.Г. Медведева // Проблемы науки. – 2019. – № 6 (42). – С. 6–8.
12. Рядченко М.А., Каменчуков А.В. Применение пластикового вторсырья в дорожной отрасли // В сборнике: Материалы секционных заседаний 59-й студ. науч.-практ. конф. ТОГУ. – Хабаровск, 2019. – С. 73–77.
13. Лихачева В.В., Цветкова Н.В. Эколого-экономический анализ модифицированной асфальтобетонной смеси, разработанной с использованием резиновых и пластмассовых отходов // Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса 2018: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. в рамках четвертого Междунар. науч. форума Донецкой Народной Республики «Инновационные перспективы Донбасса: Инфраструктурное и социально-экономическое развитие». – Донецк, 2018. – С. 325–330.
14. Тюрюханов К.Ю., Пугин К.Г. Исследование взаимодействия битума с минеральными частицами в асфальтобетоне // Транспортные сооружения. – 2018. – Т. 5, № 1. – С. 19
15. Получение экологически безопасных материалов на основе отработанного формовочного песка сталелитейного производства / Я.И. Вайсман, К.Г. Пугин, Л.В. Рудакова, И.С. Глушанкова, К.Ю. Тюрюханов // Теоретическая и прикладная экология. – 2018. – № 3. – С. 109–115.
16. The possibility of using steel slag for pavement structure application in Vietnam / M. Lam, S. Jaritngam, K. Wongsopanakul, P. Taneerananon // 8th International Conference on Maintenance and Rehabilitation of Pavements, MAIREPAV 2016. – 2016. – P. 846–853.
17. Environmental characterization of Foundry Waste Sand (WFS) in hot mix asphalt (HMA) mixtures / Paulo P.O.L. Dyer, Maryangela Geimbade Lima, Luis Miguel G. Klinsky, Silvelene A. Silva, Gustavo J.L. Coppio // Construction and Building Materials. – 20 May 2018. – Vol. 171. – P. 474–484.
18. Патент РФ № 2697468, 17.08.2019. Асфальтобетон / Тюрюханов К.Ю., Пугин К.Г., Щепетева Л.С. [и др.] // Патент России № 2697468. 17.08.2019. Бюл. № 23.
19. Тюрюханов К.Ю., Пугин К.Г. Влияние содержания отработанной формовочной смеси на структуру и свойства асфальтобетона // Молодежь и научно-технический прогресс в дорожной отрасли юга России: материалы XII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2018. – С. 163–167.
20. Use of incinerator bottom ash in open-graded asphalt concrete / Huan-Lin Luo, Shih-Huang Chen, Deng-Fong Lin, Xin-Rong Cai // Construction and Building Materials. – 15 September 2017. – Vol. 149. – P. 497–506.

References

1. Dolia A.G., Shatvorian D.A., Smirnova D.V., Zhukov I.P. Effektivnoe ispol'zovanie porod shakhtnykh otvalov v dorozhnom stroitel'stve [Effective use of mine dump rocks in road construction] *Vestnik Donbasskoi natsional'noi akademii stroitel'stva i arkhitektury*, 2017, no. 2 (124), pp. 94–101.
2. Gusev B.V., Nabokov A.N., Shcheblykina T.P. Otsenka effektivnosti primeneniia konditsionnoi mineral'noi dobavki na osnove zoloshlakovykh smesei TES v tekhnologii proizvodstva betonov [Assessment of the effectiveness of the use of conditioned mineral additives based on ash and slag mixtures of thermal power plants in concrete production technology] *Tekhnologii betonov*, 2015, no. 5-6 (106-107), pp. 38–41.
3. M. Pasetto Sustainable solutions for road pavements: A multi-scale characterization of warm mix asphalts containing steel slags / M. Pasetto, A. Baliello, G. Giacomello, E. Pasquini // *Journal of Cleaner Production*. Volume 166, 10 November 2017, pp. 835–843.
4. M. Arabani Experimental investigation of the fatigue behaviour of asphalt concrete mixtures containing waste iron powder / M. Arabani, S. M. Mirabdolazimi // *Materials Science and Engineering: A*. Volume 528, Issues 10–11, 25 April 2011, pp. 3866–3870.
5. Pogromskii A.S., Dukhovnyi G.S., Anikanova T.V., Rakhimbaev Sh. M. Primenenie elektrostaleplavil'nykh shlakov v konstruktsiakh nezhestkikh dorozhnykh odezhd [The use of electric steel slag in the construction of non-rigid pavement] *Belgorod: Izdatel'stvo BGTU*, 2018, 100 p.
6. Osmonova B. Zh. Ekologo-ekonomicheskaiia tselesoobraznost' primeneniia zoly unosa v dorozhnom stroitel'stve [Environmental and economic feasibility of using fly ash in road construction] *Universum: tekhnicheskie nauki*, 2016, no. 7 (28), p. 13.
7. Bal'zhinimaeva M. Z., Slobodchikova N. A. Primenenie zoloshlakovykh materialov v dorozhnom stroitel'stve [The use of ash and slag materials in road construction] *Vzaimodeistvie nauki, obrazovaniia i proizvodstva: sbornik trudov po materialam Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*, 2018, pp. 19–33.

8. Dulaimi A. Laboratory studies to examine the properties of a novel cold-asphalt concrete binder course mixture containing binary blended cementitious filler / Dulaimi, A., Nageim, H.A., Ruddock, F., Seton, L. // *Journal of Materials in Civil Engineering*, Volume 29 (9), 2017.
9. Kruchinin I.N. Dediukhin A.Iu. Vozmozhnosti izmeneniia fiziko-mekhanicheskikh kharakteristik aktivirovannykh mineral'nykh poroshkov [Possibilities of changing the physical and mechanical characteristics of activated mineral powders] *Modernizatsiia i nauchnye issledovaniia v transportnom komplekse*, 2014, vol. 1, pp. 447-449.
10. Patent RF № 2601327 C1, 10.11.2016. Sposob polucheniia stabiliziruushchei dobavki dlia shchebenochno-mastichnogo asfal'tobetona (varianty) [A method of obtaining a stabilizing additive for gravel-mastic asphalt concrete (options)] Patent Rossii № 2601327 C1. 2016. Zaiavka № 2015132714/05 ot 05.08.2015. / Litvinov A.A., Mazepa P.V.
11. Medvedev V.S., Tokarev A.S., Panin P.A., Medvedeva M.G. Dorozhnoe pokrytie iz plastika [Plastic pavement] *Problemy nauki*, 2019, no. 6 (42), pp. 6-8.
12. Riadchenko M.A., Kamenchukov A.V. Primenenie plastikovogo vtorosyr'ia v dorozhnoi otrasli [The use of plastic recycling in the road industry] *Materialy sektionnykh zasedanii 59-i studencheskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii TOGU* 2019, pp. 73-77.
13. Likhacheva V.V., Tsvetkova N.V. Ekologo-ekonomicheskii analiz modifitsirovannoi asfal'tobetonnoi smesi, razrabotannoi s ispol'zovaniem rezinovykh i plastmassovykh otkhodov [Environmental and economic analysis of modified asphalt mix developed using rubber and plastic waste] *Nauchno-tekhnicheskie aspekty razvitiia avtotransportnogo kompleksa 2018: Materialy IV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii v ramkakh chetvertogo Mezhdunarodnogo nauchnogo foruma Donetskoi narodnoi Respubliki "Innovatsionnye perspektivy Donbassa: Infrastrukturnoe i sotsial'no-ekonomicheskoe razvitiie"*, 2018, pp. 325-330.
14. Tiuriukhanov K.Iu. Pugin K.G. Issledovanie vzaimodeistviia bituma s mineral'nymi chastitsami v asfal'tobetone [Investigation of the interaction of bitumen with mineral particles in asphalt concrete] *Transportnye sooruzheniia*, 2018, vol. 5, no. 1, p. 19.
15. Vaisman Ia.I., Pugin K.G., Rudakova L.V., Glushankova I.S., Tiuriukhanov K.Iu. Poluchenie ekologicheskii bezopasnykh materialov na osnove otrabotannogo formovoch'nogo peska staleliteinogo proizvodstva [Obtaining environmentally friendly materials based on used foundry sand of steel production] *Teoreticheskai i prikladnaia ekologiia*, 2018, no. 3, pp. 109-115.
16. Lam, M. The possibility of using steel slag for pavement structure application in Vietnam / Lam, M., Jaritngam, S., Wongsopanakul, K., Taneerananon, P. // 8th International Conference on Maintenance and Rehabilitation of Pavements, MAIREPAV 2016, 2016, pp 846-853.
17. Paulo P.O.L. Dyer. Environmental characterization of Foundry Waste Sand (WFS) in hot mix asphalt (HMA) mixtures / Paulo P.O.L. Dyer, Maryangela Geimbade Lima, Luis Miguel G. Klinsky, Silvelene A. Silva, Gustavo J.L. Coppio // *Construction and Building Materials* Volume 171, 20 May 2018, pp 474-484.
18. Patent RF № 2697468, 17.08.2019. Asfal'tobeton [Asphalt concrete] Patent Rossii № 2697468. 2019. Biul. № 23 / Tiuriukhanov K.Iu., Pugin K.G., Shchepeteva L.S. [i dr.].
19. Tiuriukhanov K.Iu., Pugin K.G. Vliianie soderzhaniia otrabotannoi formovoch'noi smesi na strukturu i svoistva asfal'tobetona [The influence of the content of the spent molding sand on the structure and properties of asphalt concrete] *Molodezh' i nauchno-tekhnicheskii progress v dorozhnoi otrasli iuga Rossii: materialy XII Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh*, 2018, pp. 163-167.
20. Huan-Lin Luo. Use of incinerator bottom ash in open-graded asphalt concrete / Huan-Lin Luo, Shih-Huang Chen, Deng-Fong Lin, Xin-Rong Cai // source: *Construction and Building Materials*, Volume 149, 15 September 2017, pp. 497-506.

Получено 20.01.2020

Об авторах

Тюрюханов Кирилл Юрьевич (Пермь, Россия) – ведущий инженер кафедры «Автомобильные дороги и мосты» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: Turuchfnov.k.u@list.ru).

Пугин Константин Георгиевич (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры «Автомобили и технологические машины» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: 123zzz@rambler.ru), ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова» (614990, г. Пермь, Петропавловская ул., 23).

Пугина Вероника Константиновна (Пермь, Россия) – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: veronika815@inbox.ru).

About the authors

Kirill Y. Tyuryukhanov (Perm, Russian Federation) – Leading Engineer, Department of Highways and Bridges, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: Turuchfnov.k.u@list.ru).

Konstantin G. Pugin (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Automobiles and Technological Machines, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky Pr., 29, e-mail: 123zzz@rambler.ru), Perm State Agrarian University of Technology named after Academician D.N. Pryanishnikov (23, Petropavlovskaya st., Perm, 614990, Russian Federation).

Veronika K. Pugina (Perm, Russian Federation) – Student, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: veronika815@inbox.ru).