

К.Ю. Тюрюханов¹, К.Г. Пугин^{1,2}

¹Пермский национальный исследовательский
политехнический университет Пермь, Россия

²Пермский государственный аграрно-технологический университет
имени академика Д.Н. Прянишникова

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТРАБОТАННОЙ ФОРМОВОЧНОЙ СМЕСИ В СОСТАВЕ АСФАЛЬТОБЕТОНА

Рассматривается возможность использования отхода сталелитейного производства, отработанной формовочной смеси, в составе горячего плотного мелкозернистого асфальтобетона с расчетом экономической эффективности при производстве 1 тыс. т асфальтобетонной смеси. В связи с ежегодно растущими ценами на энергоносители и сырье для производства асфальтобетона это является актуальным вопросом, при решении которого возможно снизить финансовую нагрузку на дорожно-строительные организации, а также позволяет решить проблему утилизации, использования техногенных материалов в строительной и дорожно-строительной отрасли с дальнейшим расширением номенклатуры строительных материалов. Во многих регионах Российской Федерации отсутствует сырьевая база каменных минеральных материалов, что, в свою очередь, ведет к проектированию заведомо некачественных составов асфальтобетона, а приобретение в соседних регионах сырья необходимого качества приводит к удорожанию всего строительства в целом. Альтернативой традиционным каменным минеральным материалам могут послужить отходы промышленных предприятий. Как показывает опыт отечественных и зарубежных ученых, химический состав поверхности частиц минеральных материалов оказывает существенное влияние на структурообразование асфальтобетона. Так, некоторые отходы промышленных предприятий в результате технологических процессов изменяют свои физико-химические характеристики, способствуя созданию новых строительных материалов и конструкций, основным преимуществом которых является экономическая эффективность. Таким образом, выполнены и проанализированы результаты сравнительных испытаний по определению физико-механических показателей трех составов асфальтобетонных смесей с разными материалами, выступающими в роли мелкого заполнителя в составе асфальтобетонной смеси, такими как природный песок, кварцевый песок, отработанная формовочная смесь.

Ключевые слова: асфальтобетон, отход сталелитейного производства, техногенные материалы, каменные минеральные материалы, отработанная формовочная смесь, физико-механические характеристики, экономическая эффективность.

K.Y. Tyuryukhanov¹, K.G. Pugin^{1,2}

¹Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

²Perm State Agro-Technological University
named after Academician D.N. Pryanishnikov, Perm, Russian Federation

ECONOMIC EFFICIENCY OF THE USE OF THE WASTE FOUNDRY SAND IN THE COMPOSITION OF ASPHALT-CONCRETE

The possibility of using waste steel production, waste foundry sand as part of hot dense fine-grained asphalt concrete with the calculation of economic efficiency in the production of one thousand tons of asphalt concrete is considered. In connection with the annually increasing prices of energy resources and raw materials for the production of asphalt concrete, this is a pressing issue, which, if solved, can reduce the financial burden on road-building organizations, as well as solve the problem of recycling, the use of man-made materials in construction and road-building industries. Further expansion of the range of building materials. In many regions of the Russian Federation there is no raw material base of stone mineral materials, which in turn leads to the design of deliberately poor-quality asphalt concrete compounds, and the acquisition of raw materials of the required quality in neighboring regions leads to an increase in the cost of construction as a whole. An alternative to traditional stone mineral materials can serve industrial waste. The experience of domestic and foreign scientists shows that the chemical composition of the surface of particles of mineral materials has a significant impact on the structure formation of asphalt concrete. So, some industrial wastes as a result of technological processes change their physical and chemical

characteristics contributing to the creation of new building materials and structures. The main advantage of which is economic efficiency. Thus, the results of comparative tests to determine the physico-mechanical parameters of three compositions of asphalt concrete mixtures with different materials acting as fine aggregate in the composition of asphalt concrete mixture, such as natural sand, quartz sand, waste foundry sand, are analyzed and analyzed.

Keywords: asphalt concrete, steel production, man-made materials, stone mineral materials, waste foundry sand, physical and mechanical characteristics, economic efficiency.

В настоящее время в Российской Федерации прослеживается рост цен на энергоресурсы и сырьевые материалы, что приводит к увеличению стоимости строительных конструкций. В конструкции дорожной одежды самым дорогостоящим элементом являются верхние слои, так как они устраиваются из асфальтобетона. Он представляет собой рационально подобранную смесь минеральных материалов, щебня, песка из отсева дробления щебня, природного песка, минерального порошка, и в качестве вяжущего применяется битум нефтяной дорожный. В большинстве регионов отсутствует качественная сырьевая база. В этой связи актуальной задачей современного производства является поиск дешевых минеральных материалов, в качестве которых могут использоваться отходы различных отраслей промышленности. Многие техногенные материалы по физико-механическим показателям и составу не уступают традиционным инертным материалам, из которых возможно производить качественные строительные материалы и конструкции.

Использование различных по происхождению материалов при производстве асфальтобетонных обязывает производителей тщательно осуществлять подбор зернового состава асфальтобетонной смеси и, как следствие этого, проводить большое количество лабораторных испытаний получаемых образцов асфальтобетона. Основной целью при проектировании зернового состава является создание оптимальной структуры асфальтобетона, способной сопротивляться внешним и внутренним нагрузкам, возникающим от воздействия транспортных средств и окружающей среды. В разных странах существуют различные методики проектирования зернового состава. Их основная цель – максимально вовлечь местные минеральные материалы в состав асфальтобетонной смеси. Все это ведет к большим экономическим издержкам и удорожанию стоимости асфальтобетона ввиду необходимости проведения большого количества испытания пробных образцов.

Как показывает отечественный и зарубежный опыт утилизации отходов промышленности, на их основе можно получить вторичный щебень, минеральный порошок, песок, которые могут быть использованы взамен природных сырьевых компонентов, применяемых при получении асфальтобетона. Это позволяет снизить конечную стоимость асфальтобетона [1–8].

В Пермском национальном исследовательском политехническом университете была разработана технология получения асфальтобетона, в которой в качестве мелкого минерального заполнителя была использована отработанная формовочная смесь (ОФС).

ОФС представляет собой отход сталелитейного производства, основу которого составляет кварцевый песок, его химический и гранулометрический состав представлен в работе [9]. Возможность использования в асфальтобетоне и при взаимодействии битума с каменными материалами, мелкими заполнителями с большим содержанием диоксида кремния (SiO_2) > 65 %, относящихся к кислым горным породам, модифицированных материалов на их основе, а также ОФС рассматривается в работах [10–19].

В Пермском крае функционирует ряд горнодобывающих предприятий, которые снабжают минеральными материалами все строительные и дорожно-строительные организации Прикамья. Таким образом, на основе имеющихся инертных материалов был произведен подбор горячего плотного мелкозернистого асфальтобетона типа Б марки I, зерновые составы представлены в табл. 1.

Результаты сравнительных испытаний асфальтобетонных образцов по определению физико-механических показателей на соответствие ГОСТ 12801–2013 представлены на рис. 1–5.

Таблица 1

Зерновые составы горячего плотного мелкозернистого асфальтобетона типа Б марки I

Инертные материалы	Состав 1, в % по массе	Состав 2, в % по массе	Состав 3, в % по массе
Щебень фр. от 5 до 20 мм, к-р «Заготовка»	46	46	46
Песок из отсева дробления щебня фр. от 0 до 5 мм, к-р «Белый камень»	39	39	39
Природный песок, к-р «Порт Пермь»	12	–	–
Кварцевый песок, к-р «Балашейские пески»	–	12	–
Отработанная формовочная смесь	–	–	12
Минеральный порошок	3	3	3
Битум марки БНД 90/130, сверх 100 %	5,0	5,0	5,3



Рис. 1. Средняя плотность горячего плотного мелкозернистого асфальтобетона типа Б марки I, с разным мелким минеральным наполнителем

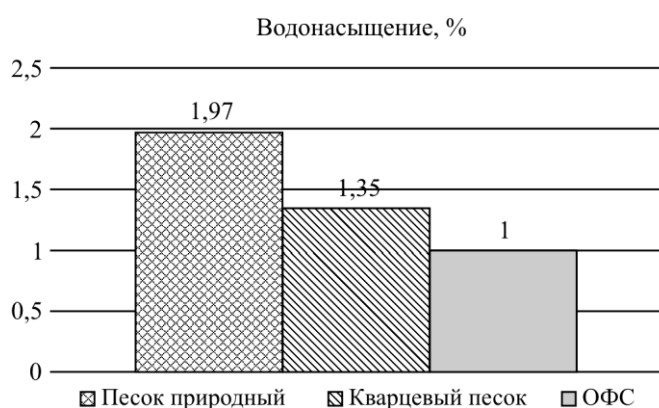


Рис. 2. Показатель водонасыщения горячего плотного мелкозернистого асфальтобетона типа Б марки I, с разным мелким минеральным наполнителем

Установлено, что при сравнительном испытании асфальтобетонных образцов с содержанием в качестве мелкого наполнителя природного песка, кварцевого песка и ОФС в количестве 12 % по массе в асфальтобетоне наблюдается более плотная компоновка зерен минеральных материалов с ОФС, что способствует образованию малого количества свободных пор и, как следствие, более низкому показателю водонасыщения и более высокой сопротивляемости к разрушающим и деформационным нагрузкам.



Рис. 3. Предел прочности при сжатии при 0 °С, горячего плотного мелкозернистого асфальтобетона типа Б марки I, с разным мелким минеральным наполнителем

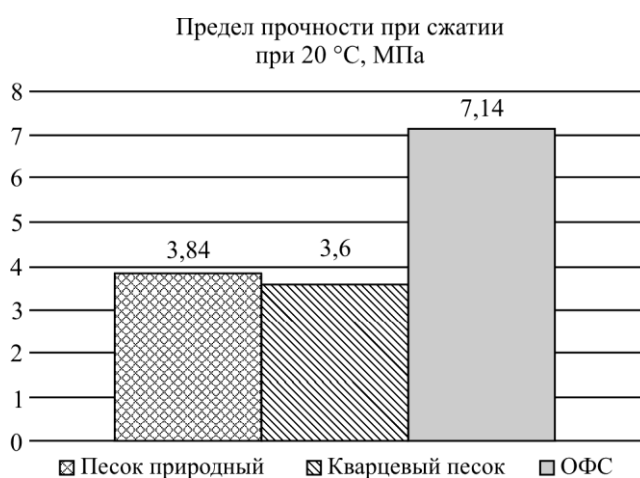


Рис. 4. Предел прочности при сжатии при 20 °С, горячего плотного мелкозернистого асфальтобетона типа Б марки I, с разным мелким минеральным наполнителем



Рис. 5. Предел прочности при сжатии при 50 °С, горячего плотного мелкозернистого асфальтобетона типа Б марки I, с разным мелким минеральным наполнителем

Стоит отметить, что при малом содержании мелкого минерального наполнителя и битума происходит незначительное смачивание поверхностей частиц минеральных материалов, структура асфальтобетона становится хрупкой, прочность также снижается. Однако при большем

содержании мелкого минерального заполнителя и битума структура асфальтобетона становится более подвижной от воздействия нагрузок, прочность также снижается. По показателю предела прочности при 0 °С можно утверждать, что асфальтобетон с ОФС при воздействии отрицательных температур сохраняет пластичность в большей степени, что благоприятно скажется на эксплуатационных свойствах в зимний период времени.

Все три состава горячей плотной мелкозернистой смеси типа Б марки I соответствуют требованиям ГОСТ 12801–2013. Это позволяет полагать, что ключевым фактором при выборе того или иного зернового состава будет являться конечная стоимость асфальтобетона. Данный расчет представлен в табл. 2.

Таблица 2

Калькуляция себестоимости приготовления 1000 тонн горячей плотной мелкозернистой асфальтобетонной смеси типа Б марки I в сравнении двух мелких заполнителей

Наименование позиции	Ед. изм.	Цена за ед., руб.	А/б м/з тип Б марка I, мелкий заполнитель природный песок		А/б м/з тип Б марка I, мелкий заполнитель ОФС	
			количество	сумма	количество	сумма
Затраты на исходные инертные материалы:						
1. Щебень фр. от 5 до 20 мм к-р «Заготовка»	т	1100	460	506 000	460	506 000
2. Песок из отсева дробления щебня к-р «Белый камень»	т	950	390	370 500	390	370 500
3. Песок природный к-р «Порт Пермь»	т	350	120	42 000	–	–
4. Отработанная формовочная смесь	т	-250*	–	–	120	-30 000*
5. Минеральный порошок	т	2600	30	78 000	30	78 000
6. Битум марки БНД 90-130	т	21000	50	1 050 000	50	1 050 000
7. Электроэнергия	руб./кВт·ч	3,92	4418,4	17 320,0	4418,4	17 320,0
8. Газ	руб./м ³	4,83	5372,7	25 950,0	5372,7	25 950,0
9. Вода, канализация	руб./м ³	32,48	39,1	1270,0	39,1	1270,0
10. ГСМ	руб./л	45,5	382,5	17 400,0	354,9	16 150,0
11. Амортизация	руб.	–	–	8320,0	–	8320,0
12. Заработная плата	руб.	–	–	63 890,0	–	57 370,0
13. Начисления на з/п	руб.	–	–	23 639,0	–	21 227,0
14. Накладные расходы	руб.	–	–	42 810,0	–	39 380,0
ИТОГО:	руб.			2 247 099		2 161 487
Рентабельность, 15 %	руб.			337 064		324 223
Всего:	руб.			2 584 163		2 485 710
Всего с НДС	руб.			3 100 995		2 982 852

* ОФС: утилизационный сбор выплачивается подрядчикам за самовывоз с территории сталелитейного производства.

Так, при производстве горячей плотной мелкозернистой асфальтобетонной смеси типа Б марки I с применением в качестве мелкого минерального заполнителя отработанной формовочной смеси экономия на 1000 т составляет 118 143 руб. – 4 % по сравнению с традиционным природным песком.

Выводы

1. В связи с широким и повсеместным использованием в Пермском крае горячего плотного мелкозернистого асфальтобетона типа Б марки I экономическая эффективность в 4 % позволяет существенно сократить расходы на приобретение исходных инертных материалов.

2. Использование в качестве мелкого минерального заполнителя в асфальтобетоне ОФС расширяет номенклатуру строительных материалов, а также помогает решить экологическую проблему утилизации техногенных материалов.

3. Оптимальное содержание ОФС в составе асфальтобетона составляет от 10 до 15 %, при этих значениях достигаются максимальные значения прочностных характеристик при разных температурных режимах, соответствующих требованиям ГОСТа.

Список литературы

1. Бондарев Б.А., Прозорова Л.А., Штефан Ю.В. Исследование свойств щебеночно-мастичных асфальтобетонов на заполнителях из литого шлакового щебня // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2014. – № 3 (35). – С. 96–106.

2. Nwaubani S.O. Waste Steel Slag and their Influence on the Properties of Cement Blends // J. of MRS Advances. – 2018. – No. 3 (34–35). – P. 2027–2040.

3. Dalhat M.A., Al-Abdul Wahhab H.I. Performance of recycled plastic waste modified asphalt binder in Saudi Arabia // International Journal of Pavement Engineering. – 2017. – No. 18(4). – P. 349–357.

4. Анализ способов применения твердых промышленных отходов при производстве строительных материалов / А.С. Кадыров, Е.З. Абуов, В.А. Кунаев, Е.С.Л. Бакытов // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. – 2018. – № 1 (104). – С. 23–30.

5. Kishchynskiy S., Nagaychuk V., Bezuglyi A. Improving Quality and Durability of Bitumen and Asphalt Concrete by Modification Using Recycled Polyethylene Based Polymer Composition // J. of Procedia Engineering. – 2016. – No. 143. – P. 119–127.

6. 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. – P. 846–853.

7. Use of asphalt plant residue in hot mix asphalt / M. Karacasu, F. Hattatoglu, S. Hinishlioglu, Y.S. Murat // International Journal of Global Warming. – 2014. – No. 6 (2–3). – P. 127–139.

8. Losa M., Leandri P., Cerchiai M. Improvement of pavement sustainability by the use of crumb rubber modified asphalt concrete for wearing courses // International Journal of Pavement Research and Technology. – 2012. – No. 5(6). – P. 395–404.

9. Пугин К.Г., Агапитов Д.А., Тюрюханов К.Ю. Исследование гранулометрического состава отработанного формовочного песка // Методы проектирования и оптимизации технологических процессов: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. – 2017. – С. 45–47.

10. Емельянычева Е.А., Абдуллин А.И. Способы улучшения адгезионных свойств дорожных битумов к минеральным материалам // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т. 16, № 3. – С. 198–204.

11. Тюрюханов К.Ю., Пугин К.Г. Особенности взаимодействия битума с отработанной формовочной смесью // Роль опорного вуза в развитии транспортно-энергетического комплекса Саратовской области (ТРАНСЭНЕРГОКОМ-2018): сб. науч. тр. по материалам Всерос. науч.-практ. конф. – Саратов, 2018. – С. 414–416.

12. Иванов К.С., Коротков Е.А. Влияние силикат-натриевых суспензий на свойства материалов щелочной активации // Неорганические материалы. – 2017. – Т. 53, № 9. – С. 993–1000.

13. Лазарева Т.Л., Цупикова Л.С. Повышение эффективности взаимодействия битума с каменными материалами в составе асфальтобетона // Дальний Восток. Автомобильные дороги и безопасность движения: междунар. сб. науч. тр. – Хабаровск, 2017. – С. 352–358.

14. Тюрюханов К.Ю., Пугин К.Г. Исследование взаимодействия битума с минеральными частицами в асфальтобетоне // Транспортные сооружения. – 2018. – Т. 5, № 1. – С. 19.

15. Albert M. Hung, Adrian Goodwin, Elham H. Fini. Effects of water exposure on bitumen surface microstructure // J. of Construction and Building Materials. – 2017. – No. 135. – P. 682–688.

16. Influence of short and long term aging on chemical, microstructural and macro-mechanical properties of recycled asphalt mixtures / Lily D. Poulidakos, Salomé dos Santos, M. Bueno, S. Kuentzel, M. Hugener, Manfred N. Partl // *J. of Construction and Building Materials*. – 2014. – No. 51. – P. 414–423.

17. Закономерности распределения битума на поверхности минерального материала / А.С. Ивкин, В.В. Васильев, Н.К. Кондрашева, К.Г. Суханова // *Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета)*. – 2017. – № 38(64). – С. 81–85.

18. Исследование влияния минеральных порошков различного химико-минералогического состава на свойства асфальтобетонных смесей / М.А. Ликомаскина, М.С.Р. Алнаиф, А.И. Сальникова, А.А. Минронов // *Региональная архитектура и строительство*. – 2017. – № 2 (31). – С. 53–63.

19. Переработанный гальваношлам как промотор адгезии битума к материалам в асфальтобетоне / Н.А. Соколова, В.Б. Макаров, В.Б. Доброхотов, О.В. Доброхотова // *Научно-технический вестник Поволжья*. – 2013. – № 5. – С. 294–297.

References

1. Bondarev B.A., Prozorova L.A., Stefan Yu.V. Issledovanie svoystv shebenochno-mastichnih asfaltobetonov na zapolnitel'akh iz litogo shlakovogo shebnia [Research of cast slag rubble made stone matrix asphalt properties]. *Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and architecture*, 2014, no 3 (35), pp. 96–106.

2. Nwaubani S.O. Waste Steel Slag and their Influence on the Properties of Cement Blends. *MRS Advances*, 2018, no. 3 (34-35), pp. 2027-2040.

3. Dalhat M.A., Al-Abdul Wahhab H.I. Performance of recycled plastic waste modified asphalt binder in Saudi Arabia. *International Journal of Pavement Engineering*, 2017, no 18(4), pp. 349-357.

4. Kadyrov A.S., Abuov E.Z., Kunaev V.A., Bakytov E.S.L. Analiz sposobov primeneniya tverdiy promishlennih othodov pri proizvodstve stroitel'nykh materialov. [Analysis of methods of application of solid industrial waste in manufacturing building materials]. *Bulletin of the Kazakh Academy of Transport and Communications M. Tynyshpayev*, 2018, no 1 (104), pp. 23–30.

5. Kishchynskiy S., Nagaychuk V., Bezuglyi A. Improving Quality and Durability of Bitumen and Asphalt Concrete by Modification Using Recycled Polyethylene Based Polymer Composition. *Procedia Engineering*, 2016, no 143, pp. 119-127.

6. Lam M., Jaritngam S., Wongsopanakul K., Taneerananon P. The possibility of using steel slag for pavement structure application in Vietnam. 8th International Conference on Maintenance and Rehabilitation of Pavements, MAIREPAV 2016, pp. 846-853.

7. Karacasu M., Hattatoglu F., Hınıslioglu S., Murat Y.S. Use of asphalt plant residue in hot mix asphalt. *International Journal of Global Warming*, 2014, no 6 (2-3), pp. 127-139.

8. Losa M., Leandri P., Cerchiai M. Improvement of pavement sustainability by the use of crumb rubber modified asphalt concrete for wearing courses. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 2012, no 5(6), pp. 395-404.

9. Pugin K.G., Agapitov D.A., Tyuryukhanov K.Yu. Issledovanie granulometricheskogo sostava otrabotannogo formovochnogo peska. [The study of the particle size of the waste foundry sand]. *Methods of designing and optimizing technological processes. In the collection of articles of the International Scientific and Practical Conference*. Ufa, Omega Saince, 2017, pp. 45-47.

10. Yemelyanycheva EA, Abdullin A.I. Sposobi ulucheniya adgezionnykh svoystv dorozhnykh bitumov k mineral'nym materialam [Ways to improve the adhesion properties of road bitumen to mineral materials]. *Bulletin of Kazan Technological University*, 2013, vol. 16, no. 3, pp. 198-204.

11. Tyuryukhanov K.Yu., Pugin K.G. Osobennosti vzaimodeystviya bituma s otrabotannoi formovochnoi smesyu. [Peculiarities of interaction of the bitume with the worked molding mixture]. In the collection: The role of the supporting university in the development of the transport and energy complex of the Saratov region (TRANSENERGOKOM-2018) *Collection of scientific papers on materials of the All-Russian scientific-practical conference*. Saratov, SGTU, 2018, pp. 414-416.

12. Ivanov K.S., Korotkov E.A. Vliyeniye silikat-natrievykh suspenziy na svoystva materialov shelochnoy aktivatsii. [Effect of sodium silicate slurries on the properties of alkali-activated materials]. *Inorganic materials*, 2017, vol. 53, no. 9, p. 993-1000.

13. Lazareva T.L., Tsupikova L.S. Povisheniye effektivnosti vzaimodeystviy bituma s kamennymi materialami v sostave asfaltobetona. [Improving the efficiency of interaction of bitumen with stone materials in the composition of asphalt concrete]. In the collection: *the Far East. Highways and traffic safety. International collection of scientific papers*. Habarovsk, Tikhookeanskii gosudarstvennyi universitet. 2017. pp. 352-358.

14. Tyuryukhanov K.Yu., Pugin K.G. Issledovanie vzaimodeystviy bituma s mineral'nymi chasticami v asfaltobetone [Research of the interaction of bitumen with mineral particles in asphalt concrete]. *Transport constructions*, 2018, vol. 5, no. 1, p. 19.

15. Albert M. Hung, Adrian Goodwin, Elham H. Fini. Effects of water exposure on bitumen surface microstructure. *Construction and Building Materials*, 2017, no 135, pp. 682–688
16. Lily D. Poulikakos, Salomé dos Santos, Moises Bueno, Simon Kuentzel, Martin Hugener, Manfred N. Partl. Influence of short and long term aging on chemical, microstructural and macro-mechanical properties of recycled asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*, 2014, no 51, pp. 414–423.
17. Ivkin A.S., Vasilyev V.V., Kondrasheva N.K., Sukhanova K.G. Zakonomernosti raspredelenia bituma na poverhnosti mineralnogo materiala. [Patterns of distribution of bitumen on the surface of the mineral material]. News of the St. Petersburg State Institute of Technology (Technical University). 2017. No. 38 (64). Pp. 81-85.
18. Likomaskina M.A., Alnaif M.S.R., Salnikova A.I., Minronov A.A. Issledovanie vliania mineralnih poroshkov razlichnogo hiviko-mineralogicheskogo sostava na svoistva asfaltobetonnih smesei. [Research of the effect of mineral powders with different chemical-mineralogical compositions on asphalt concrete mixtures' properties]. *Regional Architecture and Construction*, 2017, no. 2 (31), pp. 53-63.
19. Sokolova N. A., Makarov V.B., Dobrokhotov V.B., Dobrokhotova O.V. Pererabotannii galvanoshlam kak promotor adgezii bituma k materialam v asfaltobetone [Recycled galvanic sludge as adhesion promoter bitumen content in asphalt concrete]. *Scientific and Technical Bulletin of the Volga region*, 2013, no. 5, pp. 294-297.

Получено 12.02.2019

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), профессор кафедры «Технический сервис и ремонт машин» Пермского государственного аграрно-технологического университета имени академика Д.Н. Прянишникова (614990, г. Пермь, ул. Петропавловская, 23).

About the authors

Kirill Yu. 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 (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: 123zzz@rambler.ru), Professor of Department of Technical Service and Repair of Machines, Perm State Agrarian University of Technology named after Academician D.N. Pryanishnikov (614990, Perm, Petropavlovskaya st., 23).