

УДК: 691
DOI: 10.48612/NewsKSUAE/69.7
EDN: GCLWBS



Проектирование асфальтобетона с применением молотого гранулированного доменного шлака

Р.И. Файзиев¹, Д.С. Смирнов¹

¹Казанский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация: *Постановка задачи.* С учетом ежегодно возрастающих транспортных нагрузок актуальным становится применение более долговечных материалов дорожного покрытия. Повысить способность асфальтобетона противостоять различным нагрузкам можно путем рационального подбора гранулометрического состава смеси, введении добавок в битум или добавление их непосредственно в смесь. В то же время, известен опыт применения различных отходов промышленности в качестве добавок в смеси в целях увеличения физико-механических показателей асфальтобетона. Это позволяет решить дополнительно экологическую проблему, так как за последнее время, с учетом растущих промышленных производств увеличивается количество вредных выбросов и отходов промышленного производства. *Целью работы* является исследование влияния минерального порошка из отходов металлургической промышленности, а именно молотого гранулированного доменного шлака, на свойства асфальтобетона марок SP-16Э и SMA-16. Для достижения цели решаются следующие задачи: проектируется состав; определяется гранулометрический состав минерального порошка на основе молотого гранулированного доменного шлака; производится приготовление образцов асфальтобетона и исследование его эксплуатационных свойств.

Результаты. В работе представлены результаты испытаний асфальтобетона марок SP-16Э и SMA-16 с применением в составе минерального порошка МП-2, а также молотого гранулированного доменного шлака.

Выводы. Установлено, что применение в качестве минерального порошка молотого гранулированного доменного шлака способствует снижению водостойкости до 25%, а также уменьшению стойкости смесей к колееобразованию. Если у асфальтобетона марок SP-16Э и SMA-16 на минеральном порошке МП-2 показатель глубины колеи был 1,8 и 1,1 мм, то с применением молотого доменного шлака в качестве минерального порошка этот показатель стал 5,9 и 6,1 мм соответственно, что не соответствует требованиям ГОСТ и применение в смесях доменного шлака сомнительно.

Ключевые слова: асфальтобетонная смесь, минеральный порошок, молотый доменный шлак, отходы металлургических производств, отходы промышленности, долговечность

Для цитирования: Файзиев Р.И., Смирнов Д.С. Оценка возможности применения отходов металлургических производств в материалах дорожного покрытия // Известия КГАСУ, 2024, № 3(69), с. 68-76, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/69.7, EDN: GCLWBS

Evaluation of the possibility of using metallurgical waste in road surfacing materials

R.I. Fayziev¹, D.S. Smirnov¹

¹Kazan State University of Architecture and Engineering,
Kazan, Russian Federation

Abstract: *Statement of the problem.* Taking into account the annually increasing transport loads, the use of more durable asphalt concretes becomes relevant. It is possible to increase the ability of asphalt concrete to withstand various loads by rational selection of the granulometric composition of the mixture, introduction of additives into bitumen or adding them directly into the asphalt concrete mixture. At the same time, there is known experience in using various industrial wastes as additives into asphalt concrete mixtures in order to increase their physical and mechanical properties. This allows us to additionally solve the environmental problem, since recently, taking into account the growing industrial production, the amount of harmful emissions and industrial waste has increased. The objective of the work is to study the effect of mineral powder from metallurgical waste, namely ground granulated blast furnace slag, on the properties of asphalt concrete mixtures of the SP-16Э and SMA-16 brands. To achieve the objective, the following tasks are solved: the composition of asphalt concrete mixtures is designed; the granulometric composition of mineral powder based on ground granulated blast furnace slag is determined; samples of asphalt concrete mixtures are prepared and their performance properties are studied.

Results. The work presents the test results of asphalt concrete mixtures of grades SP-16Э and SMA-16 using mineral powder MP-2 as part of the composition, as well as ground granulated blast furnace slag.

Conclusions. It has been established that the use of ground granulated blast furnace slag as a mineral powder helps to reduce the water resistance of asphalt concrete mixtures by up to 25%, as well as to reduce the resistance of the mixtures to rutting. If the rut depth indicator for asphalt concrete mixtures of grades SP-16Э and SMA-16 on mineral powder MP-2 was 1.8 and 1.1 mm, then with the use of ground blast furnace slag as a mineral powder this indicator became 5.9 and 6.1 mm respectively, which does not meet federal standard requirements and its use in blast furnace slag mixtures is questionable.

Keywords: asphalt concrete mixture, mineral powder, ground blast furnace slag, metallurgical waste, industrial waste, durability

For citation: Fayziev R.I., Smirnov D.S. Evaluation of the possibility of using metallurgical waste in road surfacing materials // News of KSUAE, 2024, № 3(69), p. 68-76, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/69.7, EDN: GCLWBS

1. Введение

Рост транспортных нагрузок существенно сокращает срок службы дорожного покрытия, в связи с чем, повышение долговечности материала покрытия является весьма актуальной задачей. Достичь этого можно путем рационально подобранного гранулометрического состава, добавлением различных полимеров в вяжущие материалы [1, 2], либо добавок непосредственно в смесь [3-5].

Актуальной задачей в настоящее время является применение различных отходов производства при строительстве автомобильных дорог, и в частности, при устройстве покрытий [6].

Применение отходов промышленности непосредственно в асфальтобетонах имеет большую актуальность в настоящее время по нескольким причинам [6]:

1. Экологическая. Использование отходов промышленности позволяет снизить объемы выбросов вредных веществ в окружающую среду и уменьшить негативное воздействие на экологию.

2. Экономическая. Использование отходов промышленности позволяет снизить затраты на производство материалов и снизить общую стоимость строительства и ремонта дорог.

3. Технологическая. Некоторые отходы промышленности, такие как шлаки, золы, песчаные и щебеночные материалы, могут улучшать характеристики асфальтобетона, такие как прочность, устойчивость к износу и водонепроницаемость.

4. Социальная. Использование отходов промышленности в асфальтобетонах способствует сокращению отходов на свалках и повышению эффективности их использования в производстве.

Исследованием влияния отходов различных промышленных производств на показатели асфальтобетонных смесей занимались многие авторы [6-8].

Например, в работе [9] авторы отмечают соответствие нормативным показателям прочности и коэффициента водостойкости асфальтобетонной смеси, в составе которой использовался металлургический шлак в качестве минерального порошка.

Авторы [10] отмечают увеличение деформационных свойств асфальтобетонов с применением добавки из сталеплавильного шлака.

В работе Енджиевской И.Г. [11] установлено, что применение в асфальтобетонной смеси в качестве минерального порошка отхода лома кирпичной футеровки алюминиевых электролизеров способствует повышению плотности асфальтобетонной смеси, снижению водонасыщения и увеличению прочности при сжатии. Авторами [12, 13] установлено, что применение в качестве минерального порошка в асфальтобетонах некондиционных порошкообразных материалов, способствует замедлению процессов старения битумов, а также увеличению на 20-40% прочностных показателей асфальтобетона.

Положительно влияют на характеристики асфальтобетонных смесей отработанный формовочный песок [14], а также добавки на основе отходов целлюлозно-бумажной промышленности [15].

Если говорить об отходах металлургического производства, в частности о применении молотых гранулированных доменных шлаков в асфальтобетонных смесях, то они изучены недостаточно.

Учитывая вышеизложенное, целью работы является исследование влияния минерального порошка из отходов металлургической промышленности, а именно молотого гранулированного доменного шлака, на свойства асфальтобетонной смеси марки SP-16Э и щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси SMA-16.

Для достижения цели решались следующие задачи: проектировался состав асфальтобетонной смеси марки SP-16Э и щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси SMA-16; определялся гранулометрический состав минерального порошка на основе молотого гранулированного доменного шлака; производилось приготовление образцов асфальтобетонных смесей и выполнялось исследование их эксплуатационных свойств.

2. Материалы и методы

Для проведения исследований запроектированы составы асфальтобетонных смесей марок SP-16Э¹ и SMA-16² (таблицы 1 и 2). Составы асфальтобетонных смесей подобраны согласно ГОСТ Р 58401.3-2019 и ГОСТ Р 58401.4-2019 с соответствующими требованиями показателями воздушных пустот, пустот минерального заполнителя (ПМЗ), пустот наполненных битумом (ПНБ) и пустот в крупном заполнителе (ПКЗ). В качестве

¹ ГОСТ Р 58401.1-2019. Дороги автомобильные общего пользования. Смесей асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Система объемно-функционального проектирования. Технические требования / Стандартинформ, 31.05.2019 – 22 с.

² ГОСТ Р 58401.2-2019. Дороги автомобильные общего пользования. Смесей асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Система объемно-функционального проектирования. Технические требования / Стандартинформ, 31.05.2019 – 18 с.

минерального порошка использовались минеральный порошок МП-2, а также отход металлургической промышленности – молотый гранулированный доменный шлак (МГДШ). Зерновой состав молотого гранулированного доменного шлака представлен в таблице 3.

Таблица 1

Состав асфальтобетонной смеси марки SP-16Э

№ п/п	Наименование материалов с указанием производителей	Состав смеси (вяжущее сверх 100%), %	Состав смеси (вяжущее в 100%), %
1	Щебень фр. 11,2-16 мм М1400	25,0	23,7
2	Щебень фр. 8-11,2 мм М1400	26,0	24,6
2	Щебень фр. 4-8 мм М1400	23,0	21,8
3	Песок дробленый фр. 0-4 мм М1400	22,0	20,8
4	Минеральный порошок МП-2 / МГДШ ООО "Мечел-материалы"	4,0	3,8
5	Битумное вяжущее PG 70-34	5,6	5,3
	ИТОГО:	105,6	100,0

Таблица 2

Состав асфальтобетонной смеси марки SMA-16

№ п/п	Наименование материалов с указанием производителей	Состав смеси (вяжущее сверх 100%)	Состав смеси (вяжущее в 100%)
1	Щебень фр. 11,2-16 мм М1400	29,0	27,0
2	Щебень фр. 8-11,2 мм М1400	27,0	25,1
3	Щебень фр. 4-8 мм М1400	22,0	20,5
4	Песок дробленый фр. 0-4 мм М1400	13,0	12,1
5	Минеральный порошок МП-2 / МГДШ ООО "Мечел-материалы"	9,0	8,4
6	Стабилизирующая добавка СД-3 ООО "ГБЦ"	0,49	0,5
7	Битумное вяжущее PG 70-34 ООО "БитумОйл" + 0,4% Адгезол 6 (+0,4% АдгезолЗТД) ООО "Базис Терра"	6,9	6,4
	ИТОГО:	107,4	100,0

Таблица 3

Зерновой состав минерального порошка из молотого гранулированного доменного шлака (1 проба)

Размеры ячеек сит, мм.	2,0	1,0	0,5	0,25	0,125	0,063
Проходы через сито МП-2, %	100	100	100	100	83,3	56,6
Требование для МП-2 ГОСТ 32761-2014	не менее 100	-	-	-	не менее 85	не менее 70
Проходы через сито МП-3, %	100	100	100	100	100	100
Требование для МП-3 ГОСТ 32761-2014	не менее 100	-	-	-	не менее 75	не менее 60



Рис. 1. Изготовление образцов асфальтобетонной смеси на вращательном уплотнителе
(иллюстрация авторов)

Fig. 1. Production of asphalt concrete mix samples on a rotary compactor
(illustration by the authors)

После изготовления образцов асфальтобетонных смесей марок SP-16Э и SMA-16, были проведены испытания по определению объемной плотности³, максимальной плотности⁴, содержанию воздушных пустот⁵, содержанию битумного вяжущего⁶, коэффициента водостойкости⁷ и устойчивости асфальтобетонных смесей к колееобразованию⁸.

3. Результаты и обсуждение

В результате проведенных исследований установлено, что асфальтобетонные смеси, содержащие в своем составе минеральный порошок из молотого гранулированного доменного шлака, обладают меньшей водостойкостью, а также большей глубиной колеи. Содержание воздушных пустот находится в пределах нормативных значений и составляет 4%. В то же время, асфальтобетонная смесь марки SP-16Э и щебеночно-мастичная асфальтобетонная смесь SMA-16 обладают чуть большими значениями объемной и максимальной плотности, в сравнении со смесями, в составе которых используется минеральный порошок марки МП-2.

³ ГОСТ Р 58401.10-2019. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Методы определения объемной плотности / Стандартинформ, 06.06.2019 – 11 с.

⁴ ГОСТ Р 58401.16-2019. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Методы определения максимальной плотности / Стандартинформ, 31.05.2019 – 11 с.

⁵ ГОСТ Р 58401.8-2019. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Метод определения содержания воздушных пустот / Стандартинформ, 31.05.2019 – 7 с.

⁶ ГОСТ Р 58401.15-2019. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Определение содержания битумного вяжущего методом выжигания / Стандартинформ, 31.05.2019 – 8 с.

⁷ ГОСТ Р 58401.18-2019. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Метод определения водостойкости и адгезионных свойств / Стандартинформ, 06.06.2019 – 13 с.

⁸ ГОСТ Р 58406.3-2020. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и Асфальтобетон. Метод определения стойкости к колееобразованию прокатыванием нагруженного колеса / Стандартинформ, 01.06.2020 – 16 с.

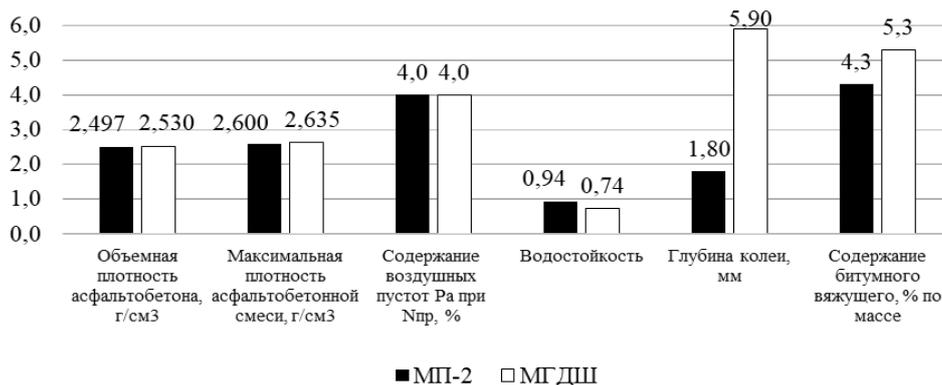


Рис. 2. Сравнение объемных и эксплуатационных свойств асфальтобетона SP-16Э на МП-2 и МГДШ (иллюстрация авторов)

Fig. 2. Comparison of volumetric and operational properties of asphalt concrete SP-16Э on MP-2 and ground blast furnace slag (illustration by the authors)

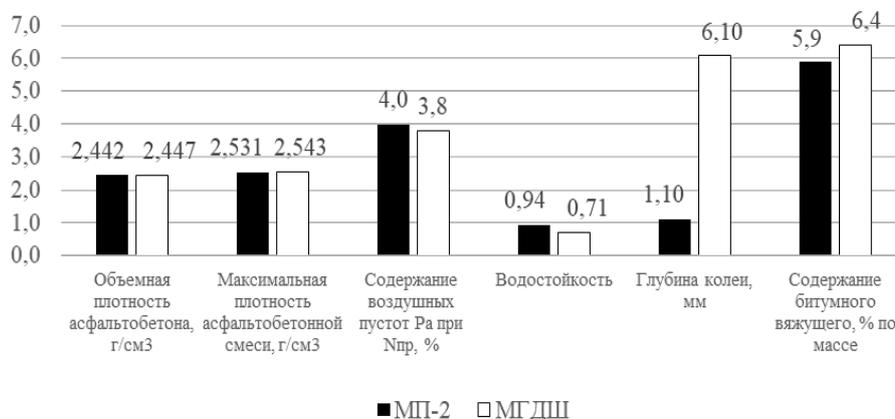


Рис. 3. Сравнение объемных и эксплуатационных свойств асфальтобетона SMA-16 на МП-2 и МГДШ (иллюстрация авторов)

Fig. 3. Comparison of volumetric and operational properties of asphalt concrete SMA-16 on MP-2 and ground blast furnace slag (illustration by the authors)

Была проведена корректировка зернового состава минерального порошка из молотого гранулированного доменного шлака, а именно сокращение проходов минерального порошка через сита с размерами ячеек 0,125 и 0,063 (таблица 4).

Таблица 4
Зерновой состав минерального порошка из молотого гранулированного доменного шлака (2 проба)

Размеры ячеек сит, мм.	2,0	1,0	0,5	0,25	0,125	0,063
Проходы через сито МП-3, %	100	100	100	100	81,3	68,8
Требование для МП-3 ГОСТ 32761-2014	не менее 100	-	-	-	не менее 75	не менее 60

Изменение гранулометрического состава минерального порошка привело к изменению коэффициента водостойкости щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси SMA-16, который повысился с 0,71 до 0,76, при требовании не менее 0,8, а также снижению глубины колеи, с 6,1 до 4,2 мм при требовании не более 3,5 мм. Данные по коэффициенту водостойкости коррелируют с данными авторов [16], где также отмечается его повышение.

Как видно из результатов испытаний, несмотря на то, что характеристики не соответствуют требованиям, предъявляемым к SMA-16, изменение зернового состава, в сторону снижения дисперсности, позволило значительно улучшить контролируемые параметры. Учитывая вышеизложенное, можно предположить, что дальнейшая

корректировка зернового состава гранулированного доменного шлака сможет обеспечить асфальтобетону требуемые значения коэффициента водостойкости и глубины колеи.

4. Заключение

1. Подобраны составы асфальтобетонной смеси марки SP-16Э и щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси SMA-16 с применением в качестве заполнителя минерального порошка МП-2, а также были проведены испытания асфальтобетонных смесей, в составе которых, минеральный порошок заменен на молотый гранулированный доменный шлак.

2. Выполнены испытания асфальтобетонных смесей по определению объемной плотности, максимальной плотности, содержанию воздушных пустот, содержанию битумного вяжущего, коэффициента водостойкости и устойчивости асфальтобетонных смесей к колееобразованию.

3. Применение в качестве минерального порошка отходов металлургических производств, в виде молотого гранулированного доменного шлака, заслуживает дальнейшего изучения, так как при соответствующей корректировке его зернового состава, снижении дисперсности, характеристики асфальтобетона заметно улучшаются.

Список литературы / References

1. Лукша О.В., Опанасенко О.Н., Крутько Н.П., Лобода Ю.В. Модифицирование окисленного битума стирол-бутадиен-стирольными сополимерами различного строения // Журнал прикладной химии. 2006. Т. 79. № 6. С. 1030-1034. – EDN НТТСОН. [Luksha O.V., Opanasenko O.N., Krutko N.P., Loboda Yu.V. Modification of oxidized bitumen with styrene-butadiene-styrene copolymers of different structures // Journal of Applied Chemistry. 2006. Vol. 79. No. 6. P. 1030-1034. – EDN НТТСОН.].
2. Чернобай А. В. Модифицирование нефтяных дорожных битумов полимерными материалами как способ создания инновационных дорожных вяжущих / Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности: Материалы IX Всероссийской (с международным участием) научно-технической конференции молодых исследователей, Волгоград, 18–23 апреля 2022 года. – Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2022. – С. 87-89. – EDN IIDRWQ. [Chernobay A. V. Modification of petroleum road bitumen with polymer materials as a way to create innovative road binders / Actual problems of construction, housing and communal services and technosphere safety: Proceedings of the IX All-Russian (with international participation) scientific and technical conference of young researchers, Volgograd, April 18-23, 2022. - Volgograd: Volgograd State Technical University, 2022. - P. 87-89. - EDN IIDRWQ.].
3. Хасаншин Р.Р., Сафин Р.Р., Гафиятуллина М.Р. Улучшение свойств асфальтобетона с помощью модификаторов / Наука нового поколения: конвергенция знаний, технологий, общества: Сборник научных трудов по материалам I Международной научно-практической конференции. Смоленск, 2019. С. 70-72. – EDN QDZZDZ. [Khasanshin R.R., Safin R.R., Gafiyatullina M.R. Improving the properties of asphalt concrete using modifiers / New generation science: convergence of knowledge, technology, society: Collection of scientific papers based on the materials of the I International scientific and practical conference. Smolensk, 2019. P. 70-72. - EDN QDZZDZ.].
4. Рафикова И. В. Оценка эффективности применения комплексного модификатора "Эладорм" для щебеночно-мастичного асфальтобетона: Материалы всероссийской конференции в 3-х частях, Санкт-Петербург, 26–30 апреля 2021 года / Инженерно-строительный институт Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Санкт-Петербург, 2021. С. 305-307. – EDN EWIYCR. [Rafikova I. V. Evaluation of the efficiency of using the complex modifier "Eladorm" for stone mastic asphalt concrete: Proceedings of the All-Russian conference in 3 parts, St. Petersburg, April 26-30, 2021 / Civil Engineering Institute of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. St. Petersburg, 2021. P. 305-307. - EDN EWIYCR.].

5. Вдовин Е.А., Фомин А.Ю., Коновалов Н.В. Модифицирующая добавка на основе синтетического окисленного воска для щебеночно-мастичных асфальтобетонов // Автомобильные дороги и транспортная инфраструктура. 2023. № 3(3). С. 4-11. – EDN GZDJYL. [Vdovin E.A., Fomin A.Yu., Kononov N.V. Modifying additive based on synthetic oxidized wax for stone mastic asphalt concrete // Highways and transport infrastructure. 2023. No. 3(3). P. 4-11. – EDN GZDJYL].
6. Yu Sun, Xi Zhang, Juanjuan Chen, Jian Liao, Chenyu Shi, Chongwei Huang. Mixing design and performance of porous asphalt mixtures containing solid waste / Case Studies in Construction Materials, Volume 21. – 2024, e03644, ISSN 2214-5095, <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03644>.
7. Dong Lu, Chaoliang Fu, Xi Jiang, Zhaojie Chen, Fulin Qu, Yanlin Huo, Zhen Leng, Jing Zhong. Sustainable microwave-heating healing asphalt concrete incorporating functional aggregates and waste ferrite / Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 129. – 2024, e104117, ISSN 1361-9209, <https://doi.org/10.1016/j.trd.2024.104117>.
8. Hasan Mohammadi Anaei, Mohammad Mehdi Khabiri, Ahmad Mansourian. Effect of nanowollastonite wastes on bitumen and asphalt mixtures performance / Nanomaterials and Energy, Volume 13, Issue 2. – 2024, P. 64-75, ISSN 2045-984X, <https://doi.org/10.1680/jnaen.22.00017>.
9. Zhen Zhang, Xiaoguang Zheng, Jiayi Li, Gang Xu, Lianjiang Tan, Mechanism of reinforced interfacial adhesion between steel slag and highly devulcanized waste rubber modified asphalt and its influence on the volume stability in steel slag asphalt mixture / Construction and Building Materials, Volume 447. - 2024, e138129, ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.138129>.
10. Haiqin Xu, Anqi Chen, Shaopeng Wu, Yuanyuan Li, Jiasheng Li, Yaoyang Zhu, Jinyi Wu, Yuheng Zhou, Jianlin Feng. Mechanism of asphalt concrete reinforced with industrially recycled steel slag from the perspectives of adhesion and skeleton / Construction and Building Materials, Volume 424. – 2024, e135899, ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.135899>.
11. Енджиевская И. Г. Применение отходов промышленности в производстве щебеночно-мастичного асфальтобетона / Инвестиции, градостроительство, недвижимость как драйверы социально-экономического развития территории и повышения качества жизни населения: материалы XI Международной научно-практической конференции. Томск, 2021. С. 481-485. – EDN POLZUC. [Endzhievskaya I. G. Use of industrial waste in the production of stone mastic asphalt concrete / Investments, urban development, real estate as drivers of socio-economic development of the territory and improving the quality of life of the population: materials of the XI International scientific and practical conference. Tomsk, 2021. P. 481-485. – EDN POLZUC].
12. Ковтунова С.А., Каспина С.М., Глущенко Д.Ю., Набиуллаев И.Н. Опыт применения некондиционных порошкообразных материалов и отходов промышленности в качестве минерального порошка для асфальтобетонов / Актуальные проблемы современной науки: Международная научно-практическая конференция. Ставрополь, 2013. С. 21-23. – EDN SADTLX. [Kovtunova S.A., Kaspina S.M., Glushchenkov D.Yu., Nabiullaev I.N. Experience of using substandard powdered materials and industrial waste as mineral powder for asphalt concrete / Relevant problems of modern science: International scientific and practical conference. Stavropol, 2013. P. 21-23. – EDN SADTLX.].
13. Солдатов А. А. Опыт применения некондиционных порошкообразных материалов и техногенных отходов промышленности в качестве минерального порошка для дорожных асфальтобетонов // Научно-практические исследования. 2019. № 7-4(22). С. 88-90. – EDN PTELQN. [Soldatov A. A. Experience of using substandard powdered materials and industrial waste as mineral powder for road asphalt concrete // Scientific and practical research. 2019. No. 7-4 (22). P. 88-90. – EDN PTELQN.].

14. Пугин К. Г. Использование отработанного формовочного песка в составе асфальтобетона // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2021. № 3(35). С. 86-96. – DOI 10.21869/2311-1518-2021-35-3-86-96. [Pugin K. G. Use of spent molding sand in the composition of asphalt concrete // Biosphere compatibility: man, region, technology. 2021. No. 3 (35). P. 86-96. – DOI 10.21869/2311-1518-2021-35-3-86-96.].
15. Ядыкина В.В., Гридчин А.М., Траутвайн А.И., Юрьев П.С. Влияние стабилизирующих добавок из отходов целлюлозно-бумажной промышленности на свойства щебеночно-мастичного асфальтобетона // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 6. С. 7-11. – EDN RPJPFХ. [Yadykina V.V., Gridchin A.M., Trautvain A.I., Yuryev P.S. Influence of stabilizing additives from pulp and paper industry waste on the properties of stone mastic asphalt concrete // Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 2013. No. 6. P. 7-11. – EDN RPJPFХ.].
16. Пименов А. Т. Применение шлаковых заполнителей в составе асфальтобетона для повышения долговечности дорожных покрытий // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2019. Т. 16. № 6(70). С. 766-779. – DOI 10.26518/2071-7296-2019-6-766-779. [Pimenov A. T. Use of slag fillers in asphalt concrete to improve the durability of road surfaces // Bulletin of the Siberian State Automobile and Highway University. 2019. Vol. 16. No. 6(70). P. 766-779. – DOI 10.26518/2071-7296-2019-6-766-779.].

Информация об авторах

Файзиев Рифат Ильшатович, начальник лаборатории, ООО "Строй-инжиниринг", г. Казань, Российская Федерация

E-mail: rifat7777@mail.ru

Смирнов Денис Сергеевич, доцент, кандидат технических наук, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

E-mail: denis27111974@yandex.ru

Information about the authors

Rifat I. Fayziev, head of the laboratory of Stroyengineering LLC, Kazan, Russian Federation

E-mail: rifat7777@mail.ru

Denis S. Smirnov, associate professor, candidate of technical sciences, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: denis27111974@yandex.ru