

УДК 625.7

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-6-766-779>

## ПРИМЕНЕНИЕ ШЛАКОВЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ В СОСТАВЕ АСФАЛЬТОБЕТОНА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

**А.Т. Пименов, В.С. Прибылов**

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный  
университет (Сибстрин),  
г. Новосибирск, Российская Федерация*

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Статья посвящена результатам исследований характеристик металлургических шлаков на примере отходов металлургического производства г. Новокузнецка Кемеровской области с целью их применения в составе асфальтобетонных смесей для дорожного строительства, методах проектирования и эксплуатационных особенностях работы асфальтового бетона на шлаковых заполнителях. Целью исследования является обоснование возможности применения металлургических шлаков Новокузнецкого металлургического комбината в качестве минерального остова асфальтобетона дорожных покрытий для повышения его эксплуатационной надежности. Авторами на основании исследования физико-механических свойств асфальтовяжущего вещества и испытания опытных образцов подтверждена повышенная по сравнению с традиционными смесями сдвигоустойчивость и трещиностойкость шлакоасфальтобетона. Рассматриваемый вопрос является актуальным с точки зрения поиска более эффективных строительных материалов в условиях развития ресурсосберегающих технологий и повышения требований к экологической обстановке регионов РФ.

**Материалы и методы.** Исследования металлургического шлака проводились путем определения их физико-механических характеристик в соответствии с существующей нормативно-технической базой при использовании современных средств измерений и испытательного оборудования.

**Результаты.** Полученные результаты исследования позволили подобрать составы шлакоасфальтобетонных смесей, соответствующих требованиям существующей нормативно-технической базы по всему ряду физико-механических показателей и превышающие их.

**Обсуждение и заключение.** Применение металлургических шлаков Новокузнецкого металлургического комбината в качестве заполнителя шлакоасфальтобетона позволит увеличить его эксплуатационные характеристики с одной стороны, что особенно важно в условиях интенсивной транспортной нагрузки и резко континентального климата; с другой стороны позволит сократить себестоимость таких смесей по сравнению с традиционными, благодаря применению в них отходов промышленного производства. Металлургические шлаки могут стать заменой и серьезным подспорьем для природных строительных материалов при изготовлении и укладке асфальтобетонных смесей на городских улицах и дорогах различных категорий.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** строительные материалы, отходы металлургических производств, металлургические шлаки, асфальтобетонные смеси, эксплуатационные характеристики асфальтобетонных покрытий.

**Поступила 26.09.2019, принята к публикации 17.12.2019.**

**Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.**

**Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.**

**Конфликт интересов отсутствует.**

**БЛАГОДАРНОСТИ.** Авторы выражают благодарность за помощь в подготовке и проведении испытаний коллективу испытательной лаборатории ООО «МераТех» (г. Новосибирск), начальнику лаборатории ООО «Технадзор» (г. Новосибирск) В.С. Лизанец.

*Для цитирования:* Пименов А.Т., Прибылов В.С. Применение шлаковых заполнителей в составе асфальтобетона для повышения долговечности дорожных покрытий. *Вестник СибАДИ.* 2019;16(6): 766–779. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-6-766-779>

© Пименов А.Т., Прибылов В.С.



Контент доступен под лицензией  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-6-766-779>

## APPLICATION OF SLAG FILLERS IN THE ASPHALT CONCRETE COMPOSITION FOR INCREASING THE ROAD COATING'S DURABILITY

Alexander T. Pimenov, Viacheslav S. Pribylov,  
Novosibirsk State University of Architecture  
and Civil Engineering (Sibstrin),  
Novosibirsk, Russia

### ABSTRACT

**Introduction.** The paper presents the research results of the metallurgical slag characteristics on the example of metallurgical waste of Novokuznetsk in the Kemerovo region. Moreover, the paper demonstrates the ways of metallurgical waste's usage in the asphalt mixes' composition for the road construction and shows design methods and features of the asphalt concrete on slag aggregates. The aim of the research is to substantiate the possibility of using steelmaking slags of the Novokuznetsk Metallurgical Plant as a mineral skeleton of asphalt concrete pavement to increase its operational reliability. Basing on the research of the physicomechanical properties of asphalt binder and testing of prototypes, the authors confirm the increased shear strength of asphalt concrete on slag aggregates and resistance to cracking in comparison with traditional mixtures. The issue under consideration is relevant by finding more efficient building materials in the context of the development of resource-saving technologies and increasing environmental requirements in the Russian regions.

**Materials and methods.** The authors carried out investigations of metallurgical slag by determining their physical and mechanical characteristics in accordance with the existing regulatory and technical base using modern measuring instruments and testing equipment.

**Results.** As a result, the authors selected compositions of slag asphalt concrete mixtures that satisfied the requirements of the existing regulatory and technical base across the entire spectrum of physical and mechanical parameters and operational characteristics.

**Discussion and conclusion.** The use of metallurgical slags of the Novokuznetsk Metallurgical Plant as a filler for asphalt concrete increases its operational characteristics, especially those, which are important in conditions of intense traffic load and sharply continental climate and those, which reduce the cost of such mixtures compared to traditional ones due to the use of industrial waste in them. Therefore, the metallurgical slag seriously competes with natural building materials in the preparation and laying of asphalt mixtures for streets and roads of various categories.

**KEYWORDS:** building materials, secondary materials of metallurgical productions, steel-smelting slags, asphalt concrete mixtures, operational characteristics of asphalt concrete pavements.

Submitted 26.09.2019, revised 17.12.2019.

The authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

**ACKNOWLEDGMENTS.** The authors express their gratitude to the staff of the «MeraTech» LLC testing laboratory (Novosibirsk, Russia) and to V.S. Lizanez, the head of the «Technadzor» LLC laboratory (Novosibirsk, Russia) for helping of the research conduction.

For citation: Pimenov Alexander T., Pribylov Viacheslav S. Application of slag fillers in the asphalt concrete composition for increasing the road coating's durability. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2019; 16(6): 766–779 (in Russ.). <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-6-766-779>

© Pimenov A.T., Pribylov V.S.



Content is available under the license  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

### ВВЕДЕНИЕ

Автомобильные дороги имеют важное стратегическое, экономическое и социальное значение для нашей страны. Несоответствие состояния дороги условиям движения транспортного потока и требованиям нормативно-технических документов приводит к снижению скорости его движения и росту дорожно-транспортных происшествий по дорожным условиям. В настоящее время свыше 70% федеральной дорожной сети РФ общего пользования имеют твердые асфальтобетонные покрытия, которые могут быть подвержены в процессе их эксплуатации различным разрушениям и деформациям [1]. Данная ситуация связана со следующими внешними факторами:

1. Во-первых, это возрастающая из года в год нагрузка от подвижного состава, рост которой существенно сокращает межремонтные сроки асфальтобетонных покрытий (в соответствии с Постановлением Правительства от 30.05.2017 г. № 658<sup>1</sup> это 12 лет).

2. Во-вторых, привязанность продолжительности строительного сезона к климатическим условиям района строительства и ремонта таких покрытий горячими асфальтобетонными смесями (несмотря на использование ПАВ и так называемых теплых смесей), а также влияние на транспортно-эксплуатационное состояние дорог качества самих работ подрядных организаций.

3. В-третьих, постоянные тенденции роста стоимости расходных строительных материалов для приготовления асфальтобетонных смесей, а также хроническое недофинансирование ремонтных и восстановительных работ.

Все вышеперечисленное в условиях реализации в РФ национальных проектов по приведению в нормативное состояние дорожной сети стимулирует постоянный поиск более эффективных строительных материалов<sup>2</sup>, которые в условиях сложившейся экономики позволят получить наиболее качественный и надежный продукт в виде дорожного покрытия. Рассматривая эксплуатационные воздействия, способствующие разрушению

структуры асфальтобетона, условно выделяют следующие факторы [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22]:

1. Воздействие автотранспортных средств на асфальтобетон дорожной одежды.

2. Воздействие окружающей среды, вызывающее снижение структурно-механических характеристик асфальтовых бетонов.

3. Воздействие факторов, связанных с эксплуатацией асфальтобетонных покрытий.

При пониженных температурах в условиях жесткопластической и упругой работы систем «покрытие – основание» как характерных моделей слоистых систем возможно насыщение асфальтобетонного покрытия атмосферными осадками. Данное обстоятельство связано с понижением плотности воды при приближении температуры воздуха к 0°С и, как следствие, повышением ее проникающей способности. За счет расширяющего действия линз оставшейся во внутренних порах покрытия воды при падении температуры окружающей среды ниже 0°С, а также в условиях попеременного замораживания – оттаивания может происходить интенсивное разрушение асфальтового бетона.

Современные покрытия должны обеспечивать повышенную сдвигоустойчивость – при высоких летних температурах, трещиностойкость – при пониженных температурах, высокую коррозионную стойкость – при воздействии противогололедных материалов. Для реализации вышеуказанных требований в настоящее время применяются различные системы модификаторов, начиная от улучшения окисленного битума различными ПАВ органического и неорганического происхождения и заканчивая усилением минерального каркаса и новыми методами проектирования (например, метод Маршала по ТР ТС 014/2011<sup>3</sup> и система проектирования асфальтобетонных смесей (СПАС) по методологии *Superpave*). Несмотря на положительный опыт применения дорожно-строительными организациями таких методов и материалов, это существенно увеличивает себестоимость конечной продукции. В качестве альтернативного дешевого источника сырья для приготовления горячих асфаль-

---

<sup>1</sup> Постановление Правительства РФ от 30.05.2017 N 658 «О нормативах финансовых затрат и Правилах расчета размера бюджетных ассигнований федерального бюджета на капитальный ремонт, ремонт и содержание автомобильных дорог федерального значения».

<sup>2</sup> Распоряжение Правительства РФ от 10.05.2016 N 868-р (ред. от 23.11.2016) «О Стратегии развития промышленности строительных материалов на период до 2020 года и дальнейшую перспективу до 2030 года».

<sup>3</sup> Решение Комиссии Таможенного союза от 18.10.2011 N 827 (ред. от 12.10.2015) «О принятии технического регламента Таможенного союза «Безопасность автомобильных дорог» (вместе с ТР ТС 014/2011. Технический регламент Таможенного союза. Безопасность автомобильных дорог).

тобетонных смесей в лаборатории ФГБОУ ВО НГАСУ (Сибстрин) г. Новосибирска был исследован металлургический шлак Новокузнецкого металлургического комбината.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования металлургического шлака проводились в соответствии с ГОСТ 3344–83<sup>4</sup>,

ГОСТ 8735–88<sup>5</sup>, ГОСТ 8269.0–97<sup>6</sup> – для мартеновского и конвертерного шлака и ГОСТ Р 52129–2003<sup>7</sup> – для шлака печь-ковш соответственно, который предполагается использовать в качестве минерального порошка. Результаты лабораторных испытаний представлены в таблицах 1, 2, 3, 4, 5.

**Таблица 1**  
Марка по дробимости металлургического шлака

**Table 1**  
Steelmaking slag crushing grade

Наименование металлургического шлака	Марка по дробимости	Требования ГОСТ 9128–2013
1	2	3
Мартеновский	600 – 800	Для асфальтобетонных смесей типов Б, В марка II – не менее 800
Конвертерный	800 – 1000	

**Таблица 2**  
Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы в металлургическом шлаке

**Table 2**  
Content of lamellar and needle-shaped grains in the steelmaking slag

Наименование металлургического шлака	Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы, % по массе	Требования ГОСТ 9128–2013
1	2	3
Мартеновский	3	Не более (10) 15 % для щебня, не более 25% для отсевов дробления горных пород
Конвертерный	2	
Печь-ковш	0	

<sup>4</sup> ГОСТ 3344-83 Щебень и песок шлаковые для дорожного строительства. Технические условия (с изменением №1): утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по делам строительства от 20 октября 1983 г. № 281: дата введения 1992-01-01. М.: Стандартинформ, 2007. 11 с.

<sup>5</sup> ГОСТ 8735-88 Песок для строительных работ. Методы испытаний (с изменениями №1,2): утвержден и введен в действие Постановлением Государственного строительного комитета СССР от 05 октября 1988 № 203: дата введения 1989-07-01. М.: Стандартинформ, 2018. 29 с.

<sup>6</sup> ГОСТ 8269.0–97. Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний (с изменениями №1,2): утвержден и введен в действие Постановлением Госстроя России от 06 января 1998 № 18-1: дата введения - 1998-07-01. М.: Стандартинформ, 2018. 56 с.

<sup>7</sup> ГОСТ Р 52129–2003. Порошок минеральный для асфальтобетонных и органоминеральных смесей. Технические условия: утвержден и введен в действие Постановлением Госстроя России от 27 июня 2003 № 119: введен впервые: дата введения - 2003-10-01. М.: ГУП ЦПП, 2004. 33 с.

## РАЗДЕЛ III. СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

**Таблица 3**  
Показатели мартеновского и конвертерного металлургических шлаков

**Table 3**  
Properties of the open-hearth and converter steelmaking slag

Измеряемый показатель испытываемой продукции	Наименование металлургического шлака	
	Мартеновский шлак	Конвертерный шлак
1	2	3
Истинная плотность, кг/м <sup>3</sup>	2230	2400
Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	1200	1730

**Таблица 4**  
Показатели металлургического шлака печь-ковш

**Table 4**  
Properties of the steelmaking slag

Измеряемый показатель испытываемой продукции	Наименование НТД	Требование для МП-2 и отходов промышленного производства	Фактический показатель
1	2	3	4
Зерновой состав мельче			
1,25 мм	ГОСТ Р 52129–2003	Не менее 95	>90
0,315 мм	ГОСТ Р 52129–2003	От 80 до 95	81
0,071 мм	ГОСТ Р 52129–2003	Не менее 60	>60
Истинная плотность, кг/м <sup>3</sup>	ГОСТ Р 52129–2003	Не нормируется	2730
Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	ГОСТ Р 52129–2003	Не нормируется	1180
Битумоемкость, г	ГОСТ Р 52129–2003	Не более 80	74
Пористость, %	ГОСТ Р 52129–2003	Не более 40%	40
Набухание образцов из смеси порошка с битумом, %	ГОСТ Р 52129–2003	Не более 3%	1,6
Влажность по массе, %	ГОСТ Р 52129–2003	Не более 2,5%	0,17
Водостойкость образцов из смеси порошка с битумом	ГОСТ Р 52129–2003	Не более 0,70	0,70

Содержание в химическом составе СаО (см. таблицу 5) обуславливает лучшее сцепление металлургических шлаков с битумом по сравнению с кислыми породами. Эти осо-

бенности определяют специфические свойства асфальтобетона на шлаковых заполнителях [13, 14].

Таблица 5  
Химический состав металлургических шлаков, %

Table 5  
Chemical composition of the steelmaking slag, %

Шлак	Химический состав основных элементов металлургических шлаков, %					
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	S
Мартеновский	16,82	19,36	30,91	12,05	6,38	0,16
Конвертерный	23,50	18,40	32,70	8,74	5,64	0,05

Для оценки основных эксплуатационных характеристик шлакоасфальтобетонных смесей в лаборатории ФГБОУ ВО НГАСУ (Сибстрин) были приготовлены и исследованы образцы асфальтовяжущего вещества на основе металлургического шлака печь-ковш (рисунок 1). Приготовление образцов асфальтовяжущего вещества выполнено в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52129–2003 п.7.6, п.7.7 в металлических формах d=50,5 мм. В качестве вяжущего был применен битум нефтяной

дорожный вязкий марки БНД 70/100 по ГОСТ 33133–2014. Для обеспечения требуемой степени водонасыщения от 4 до 5% расход вяжущего для приготовления образцов – цилиндров составил 21% от массы минеральной части, то есть соотношение Б/МП = 0,21. Температура приготовления образцов составляла 150–160° С и соответствовала требованиям ГОСТ Р 52129–2003 как для отходов промышленного производства.

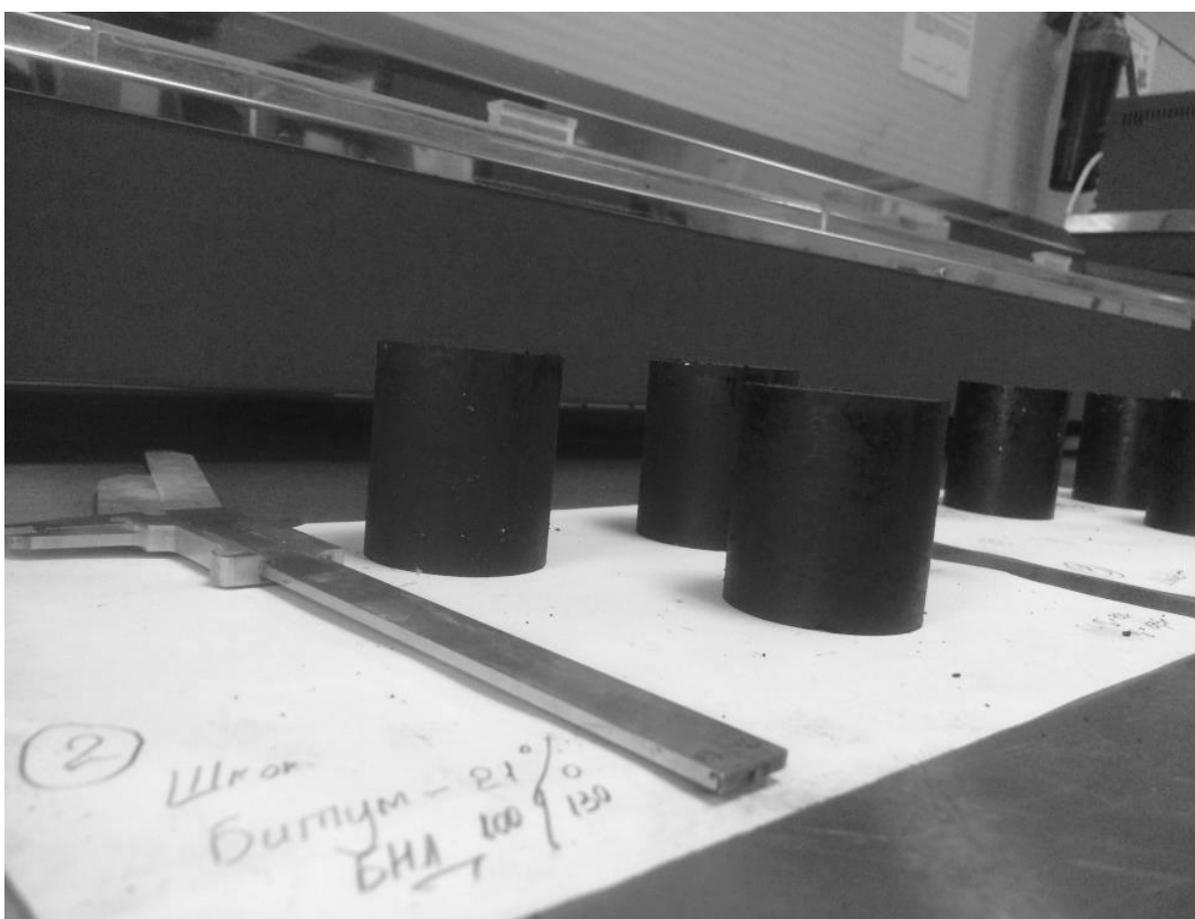


Рисунок 1 – Образцы асфальтовяжущего вещества на основе металлургического шлака печь-ковш

Figure 1 – Samples of the bitumen-mineral mixture based on the steelmaking slag

### РАЗДЕЛ III. СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Анализ морфологии и показателей физико-механических свойств асфальтовяжущего вещества на основе белого шлака печь-ковш показал, что прогнозируемая сдвигоустойчивость, водостойкость и трещиностойкость шлакоасфальтобетона, связанная с его структурой, позволяет укладывать его в местах, подверженных сдвиговым деформациям в условиях знакопеременных температур. Установлено, что при использовании в качестве минерального порошка белого шлака печь-ковш в структуре исследуемого материала возникают замкнутые поры. Наличие системы замкнутых пор в образцах асфальтовяжущего вещества и интенсивное нарастание прочности предопределяет (рисунок 2) образование в структуре материала микротрещин.

Последние, учитывая их размеры ( $<10^{-6}$  м), позволяют исключить возможность проникновения в них воды, а напряжения на их границах будут гораздо ниже предела прочности на растяжение самого асфальтобетона [23,24,25]. Данное обстоятельство в процессе эксплуатации дорожного покрытия при отрицательных температурах воздуха (ниже температуры хрупкости самого битума) позволяет исключить образование низкотемпературных микротрещин ( $>10^{-3}$  м), тем самым сохраняя

требуемую сплошность и ровность поверхности асфальтобетона.

Длительное насыщение водой образцов асфальтовяжущего вещества на основе металлургического шлака печь-ковш позволило установить связь между продолжительностью насыщения ее водой и величиной водостойкости (рисунок 3).

Такую зависимость можно представить в следующем виде:

$$y = 0,8916x^{0.1541},$$

где  $x$  – это продолжительность насыщения водой, сут,  $y$  – коэффициент водостойкости. Ошибка аппроксимации составляет не более 4%.

Установленная в результате эксперимента длительная водостойкость образцов асфальтовяжущего вещества (свыше 1,0), превышающая установленные требования по ГОСТ 9128–2013 и ГОСТ Р 52129–2003, предопределена способностью металлургического шлака к кристаллизации уже как гидравлического вяжущего (рисунок 4). Образуется так называемая коагуляционно-кристаллизационная микроструктура.

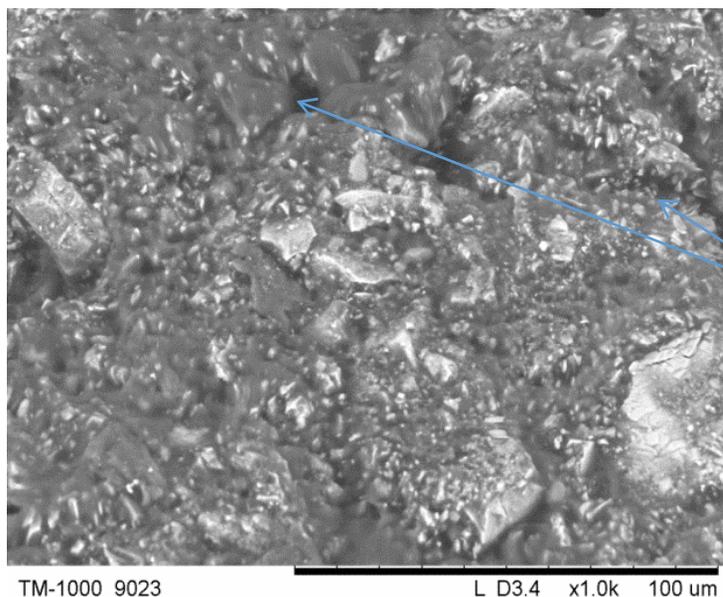


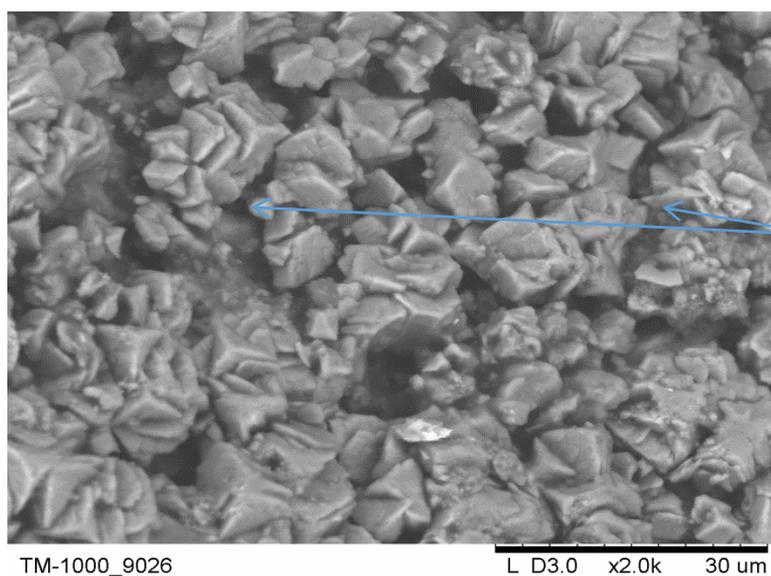
Рисунок 2 – Морфология асфальтовяжущего вещества на металлургическом шлаке (микроскоп сканирующий электронный HITACHI TM1000 Hitachi, Япония)

Figure 2 – Morphology of asphalt binder with the steelmaking slag (HITACHI TM1000 Hitachi Scanning Electronic Microscope, Japan)



Рисунок 3 – Зависимость прочности асфальтовяжущего вещества на металлургическом шлаке от продолжительности водонасыщения образцов водой

Figure 3 – Dependence of the bitumen-mineral mixture's strength of the steelmaking slag on the duration of the water saturation of the samples with water



Следы кристаллизации  
после длительного  
насыщения

Traces of crystallization after  
prolonged water saturation

Рисунок 4 – Изменение структуры асфальтовяжущего вещества после длительного насыщения образца водой

Figure 4 – Change in the structure of the asphalt-binding material after prolonged water saturation

### РАЗДЕЛ III. СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Все вышесказанное свидетельствует о том, что в условиях водонасыщения в исследуемом материале протекают процессы гидратации, которые придают асфальтобетону на шлаковых заполнителях необходимую водостойкость и прочность, увеличивая ее с течением времени по степенной зависимости (1).

Проведенные ХНАДУ (ХАДИ) исследования также показывают, что формирование асфальтобетонных покрытий из шлаковых материалов продолжается длительное время и полученное по окончании формирования дорожное покрытие соответствует плотности образцов, уплотненных в лабораторных условиях нагрузкой 30 МПа. В процессе эксплуата-

ции покрытий происходит перераспределение пористости — уменьшается объем пор большого диаметра. Такое перераспределение пористости оказывает положительное влияние на повышение морозостойкости шлакоасфальтобетона.<sup>8,9</sup>

#### РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты проведенных в ФГБОУ ВО НГАСУ (Сибстрин) г. Новосибирска лабораторных испытаний состава, структуры и свойств металлургических шлаков позволили подобрать составы шлакоасфальтобетонных смесей, соответствующих требованиям ГОСТ 9128–2013<sup>10</sup> (рисунок 5).

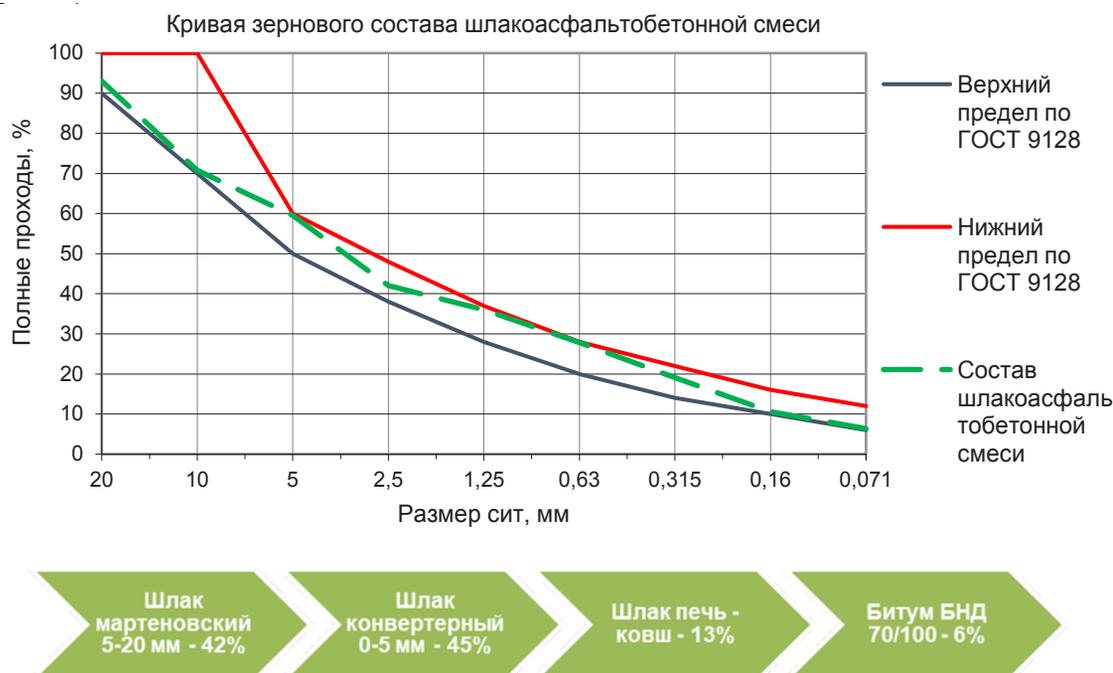


Рисунок 5 – Зерновой состав минеральной части плотной шлакоасфальтобетонной смеси

Figure 5 – Curve of the grain composition of the dense fine-grained slag-asphalt-concrete mixture

<sup>8</sup> Тулаев А.Я., Королев М.В., Исаев В.С., Юмашев В. М. Дорожные одежды с использованием шлаков / под ред. А.Я. Тулаева. М.: Транспорт, 1986, 221 с.

<sup>9</sup> Пименов А.Т., Прибылов В.С. Перспективы использования отходов металлургических производств в составе асфальтобетонных смесей для повышения их эксплуатационных характеристик // Качество. Технологии. Инновации Материалы всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2019. С. 52–56.

<sup>10</sup> ГОСТ9128–2013. Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 17 декабря 2013 № 2309-ст: введен впервые: дата введения. 2014-11-01. М.: Стандартинформ, 2014. 55 с.

Проектирование составов асфальтобетонной смеси осуществлялось с учетом обеспечения максимальной плотности и минимальной пористости минерального остова образцов по предельным кривым ГОСТ 9128–2013. Отличие по величине водонасыщения от шлаковых материалов по ОДМ 218.3.087–2017<sup>11</sup> связано с необходимостью формирования закрытой замкнутой системы пор в образцах органической смеси с остаточной пористостью, не превышающей 2,5 – 5,0%, для плотных смесей. Для пористых шлаковых асфальтобетонов, предполагаемых для устройства нижних слоев покрытий и оснований, рекомендуется ограничивать данную величину до 8–15%.

В таблице 6 приведены фактические показатели физико-механических свойств шлакоасфальтобетона на примере плотной шлакоасфальтобетонной смеси, соответствующей мелкозернистой плотной асфальтобетонной смеси типа Б марки II по ГОСТ 9128–2013. Анализ полученных результатов показывает, что шлакоасфальтобетонные смеси и шлакоасфальтобетон по основным показателям соответствуют требованиям существующей нормативно-технической базы, а по отдельным показателям, характеризующим эксплуатационную работу материала – прочность при 50°С, сдвигоустойчивость и трещиностойкость – превышают их в 1,3 – 1,9 раза.

**Таблица 6**  
Показатели физико-механических свойств шлакоасфальтобетона

**Table 6**  
Indicators of physico-mechanical properties of the slag asphalt concrete

Наименование показателя	Единицы измерения	Плотная шлакоасфальтобетонная смесь	Щебеночная плотная мелкозернистая асфальтобетонная смесь тип Б марки II по ГОСТ 9128–2013
1	2	3	4
Средняя плотность	кг/м <sup>3</sup>	2370	Не нормируется
Водонасыщение	%	1,7	1,5-4,0
Предел прочности при сжатии, при температуре 50°С	Па	2,6*10 <sup>6</sup>	Не менее 2,0*10 <sup>6</sup>
Предел прочности при сжатии, при температуре 20°С	Па	4,4*10 <sup>6</sup>	Не менее 2,2*10 <sup>6</sup>
Предел прочности при сжатии, при температуре 0°С	Па	7,0*10 <sup>6</sup>	Не менее 12,0*10 <sup>6</sup>
Водостойкость	-	0,87	Не менее 0,85
Сдвигоустойчивость по: - коэффициенту внутреннего трения	-	0,88	Не менее 0,81
- сцеплению при сдвиге при температуре 50°С	Па	0,66*10 <sup>6</sup>	Не менее 0,35*10 <sup>6</sup>
Трещиностойкость по пределу прочности на растяжение при расколе при температуре 0°С и скорости деформирования 50 мм/мин	-	2,8	2,5-6,0

<sup>11</sup> ОДМ 218.3.087–2017 Отраслевой дорожный методический документ. Рекомендации по применению асфальтобетонных смесей на основе металлургических шлаковых материалов для условий Центрального федерального округа (Распоряжение Росавтодора от 20.04.2017 N744-р).

Таблица 7  
Сведения по стоимости заполнителей для приготовления асфальтобетонных смесей<sup>12</sup>

Table 7  
Cost of aggregates for the preparation of asphalt mixtures

Наименование карьера	Стоимость материала с НДС, руб. за 1 тонну		
	фр. 20–40 мм	фр. 5–20 мм	фр. 0–5 мм
Металлургический шлак г. Новокузнецка (Кемеровская область)	364,37	333,26	302,17
Барзасский карьер (Кемеровская область)	380,00	520,00	330,00
Карьер ГДК (Кемеровская область)	432,00	504,00	314,00
Каменный карьер (Новосибирская область)	510,00	600,00	80,00
Искитимский карьер (Новосибирская область)	500,00	600,00	350,00

### ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных исследований показывают, что применение металлургических шлаков Новокузнецкого металлургического комбината (Кемеровская область) в качестве заполнителя минерального каркаса асфальтобетонной смеси и шлакоасфальтобетона позволит увеличить его эксплуатационные характеристики и долговечность с одной стороны, что особенно важно в условиях интенсивной транспортной нагрузки и резко континентального климата; с другой стороны позволит сократить себестоимость таких смесей по сравнению с традиционными благодаря применению в них отходов промышленного производства (таблица 7). Металлургические шлаки могут стать сырьевым источником при приготовлении и укладке асфальтобетонных смесей на городских улицах и дорогах различных категорий. Себестоимость и запасы шлаков (по данным [24,25] объем шлаковых отходов металлургического производства в РФ составляет свыше 11 млн тонн в год) позволят строить устойчивые к динамическим нагрузкам и знакопеременным температурам дорожные покрытия при сравнительно меньших материальных затратах. Рассматриваемые авторами шлаковые материалы – заполнители асфальтобетона – не подвержены распаду,

с точки зрения воздействия на окружающую природную среду относятся к 4 классу опасности по ГОСТ 12.1.007–76<sup>13</sup>.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Спиридонов Э.С. Проблемы и пути развития дорожного строительства / Э.С. Спиридонов, Д.Э. Волков // Трансп. РФ. 2010. № 4. С. 62–65
2. Бобков А.Л., Бобков Л.В. Инновации и повышение конкурентоспособности промышленности России: монография. М.2010. 150 с.
3. Марьев В.А., Руденский А.В. Использование вторичных материальных ресурсов при строительстве и ремонте автомобильных дорог – важный резерв ресурсосбережения // Дороги и мосты. 2017. № 37/1. С. 11–24.
4. Гриневиц Н.А. Металлургические шлаки в дорожном строительстве. Управление инновациями в дорожном хозяйстве // Сборник научных трудов ГИПРОДОРНИИ. 2014. № 5(64). С. 124–129.
5. Юшков В.С., Пугин К.Г. Разработка асфальтобетонной смеси с использованием отходов производства // Вестник МГСУ. 2014. № 6. С. 99–104.
6. Пугин К.Г. Использование отходов металлургии в асфальтобетонах // Строительные материалы. 2011. №10. С. 26–27.
7. Расстегаева Г.А. Асфальтобетон с применением отходов шлаковатного и литейного производства // Строительные материалы. 1993. № 1. С. 11–12.
8. Самодуров С.И. О долговечности шлаковых асфальтобетонных покрытий. Ростов на/Д // Межвузовский сборник. 1980. С. 21–31.

<sup>12</sup> Данные о стоимости инертных материалов взяты с официальных сайтов горнодобывающих предприятий и карьероуправлений Кемеровской и Новосибирской областей.

<sup>13</sup> ГОСТ 12.1.007–76 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. М.: Стандартинформ, 2007

9. Артемова А.В. Активированный минеральный порошок на основе металлургических шлаков и его роль в асфальтобетоне // Леса России и хозяйство в них. 2009. С. 85–91.

10. Васильевская Г.В., Назиров Д.Р. Применение отходов промышленности в качестве минерального порошка в асфальтобетоне // Вестник ИрГТУ. 2013. №10 (81). С. 153–157.

11. Копылов В.Е., Буренина О.Н. Минеральное сырье Республики Саха (Якутия) для производства асфальтобетонов // Науковедение. Том 8, №1 (2016) doi.org/ 10.15862/47TVN116.

12. Подольский В.П., Расстегаева Г.А., Расстегаева Л.Н. Армированный асфальтобетон с применением активных минеральных отходов и побочных продуктов промышленности // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2000. № 9(18). С. 10.

13. Горелышева, Л.А. Теоретические аспекты взаимодействия различных порошкообразных материалов с органическими вяжущими // Пути экономии материальных и энергетических ресурсов при ремонте и реконструкции автомобильных дорог. М., 1989. Вып. 1. С. 29–35.

14. Бархатов В. И., Добровольский И. П., Капкаев Ю. Ш. Отходы производств и потребления – резерв строительных материалов: монография / В. И. Бархатов, И. П. Добровольский, Ю. Ш. Капкаев. Челябинск: Изд-во Челяб. гос. ун-та. 2017. 477 с.

15. Баженов Ю. М. Применение промышленных отходов в производстве строительных материалов / Ю. М. Баженов, П. Ф. Шубенкин, Л. И. Дворкин. М.: Стройиздат. 1986.

16. Ларионова Н.А., Николаева С.К., Рябова А.А. Оценка возможности использования промышленных отходов для получения строительных материалов для дорожного строительства // Инновационный потенциал естественных наук. 2006. С. 157–162.

17. Кашевская Е.В., Костенко К.К., Костенко А.К. Использование отходов производства и вторичных ресурсов в дорожном строительстве // Наука и техника в дорожной отрасли. 2004. № 2 (29). С. 30–33

18. Хасанова В.К., Шильникова Н.В. Проблема утилизации промышленных отходов в России на современном этапе её развития // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 2. С. 76–78.

19. Сенцов И.В., Ничипорович Е.Д., Спицкая А.Ш., Цыгвинцев И.В., Матирная П.И., Шавва А.А., Новик А.Н., Промышленные отходы и ТБО в дорожном строительстве // Alfabuild. 2018. №3(5). С. 52–65

20. Бессонов А.С. Технологии ресурсосбережения в строительстве и их применение на современном этапе // Современные научные исследования и инновации. 2017. № 2 [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2017/02/78083> (дата обращения: 17.12.2019).

21. Ярмолинская Н.И. Дорожный асфальтобетон с применением минеральных порошков из техногенных отходов промышленности. Хабаровск: Изд-во хабаров. гос. тех. ун-та, 2002. 103 с.

22. Гончарова М. А. Использование конвертерных шлаков в производстве материалов для дорожного строительства // Строит. материалы. 2009. № 7. С. 26–27.

23. Пименов А.Т., Ильина Л.В., Смирнова О.Е. Концептуальные подходы к применению металлургических шлаков при производстве строительных материалов различного назначения Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. 2018. Т.1 № 1 (9). С. 179–182.

24. Пименов А.Т., Прибылов В.С. Влияние сталеплавильных шлаков в составе асфальтобетона дорожных покрытий на их свойства в процессе эксплуатации // Ресурсосбережение и экология строительных материалов, изделий и конструкций. 2018. С. 306–309.

25. Пименов А.Т., Прибылов В.С. Модификация составов металлургических шлаков для повышения их гидравлической активности // Современные материалы, техника и технологии. 2018. № 6(21). С. 106–113.

## REFERENCES

1. Spiridonov E.S. Problemy i puti razvitiya dorozhnogo stroitel'stva [Problems and ways of development of road construction]/ E.S. Spiridonov, D.E. Volkov // Transp. RF. 2010; 4: 62–65 (in Russian).

2. Bobkov A.L., Bobkov L.V. *Innovatsii i povysheniye konkurentosposobnosti promyshlennosti Rossii* [Innovations and increasing the competitiveness of Russian industr]. Monografiya. Moscow, 2010; 150 p. (in Russian).

3. Mar'yev V.A., Rudenskiy A.V. Ispol'zovaniye vtorichnykh material'nykh resursov pri stroitel'stve i remonte avtomobil'nykh dorog – vazhnyy rezerv resursosberezheniya [The use of secondary material resources in the construction and repair of roads is an important reserve of resource conservation]. *Dorogi i mosty*. 2017; 37/1: 11–24 (in Russian).

4. Grinevich N.A. Metallurgicheskiye shlaki v dorozhnom stroitel'stve. Upravleniye innovatsiyami v dorozhnom khozyaystve [Metallurgical slag in road construction. Management of innovations in the road sector]. *Sbornik nauchnykh trudov GIPRODORNII*. 2014; 5(64):124–129 (in Russian).

5. Yushkov V. S., Pugin K. G. Razrabotka asfal'tobetonnoy smesi s ispol'zovaniyem otkhodov proizvodstva [Development of asphalt-concrete mix using production wastes]. *Vestnik MGSU*. 2014; 6: 99–104 (in Russian).

6. Pugin K.G. Ispol'zovaniye otkhodov metallurgii v asfal'tobetonakh [The use of metallurgy waste in asphalt concrete]. *Stroitel'nyye materialy*. 2011; 10 : 26–27 (in Russian).

7. Rasstegayeva G.A. Asfal'tobeton s primeneniym otkhodov shlakovatnogo i liteynogo proizvodstva: [Asphalt concrete using slag and foundry waste: Building materials]. *Stroitel'nyye materialy*. 1993; 1: 11–12.

8. Samodurov S.I. O dolgovechnosti shlakovykh asfal'tobetonnykh pokrytiy [On the durability of slag asphalt pavements]. *Mezhvuzovskiy sbornik*. Ros-tov-na-Donu, 1980: 21–31 (in Russian).

9. Artemova A.V. Aktivirovanny mineral'nyy poroshok na osnove metallurgicheskikh shlakov i yego rol' v asfal'tobetone [Activated mineral powder based on metallurgical slag and its role in asphalt concrete]. *Lesa Rossii i khozyaystvo v nikh*. 2009; 85–91 (in Russian).

10. Vasilovskaya G.V., Nazirov D.R. Primeneniye otkhodov promyshlennosti v kachestve mineral'nogo poroshka v asfal'tobetone [Use of industrial waste as a mineral powder in asphalt concrete]. *Vestnik IrGTU*. 2013; 10 (81): 153–157 (in Russian).

11. Kopylov V.Ye., Burenina O.N. Mineral'noye syr'ye Respubliki Sakha (Yakutiya) dlya proizvodstva asfal'tobetonov [Mineral raw materials of the Republic of Sakha (Yakutia) for the production of asphalt concrete]. *Naukovedeniye*. 2016; Tom 8, No. 1. doi.org/10.15862/47TVN116 (in Russian).

12. Podol'skiy V.P., Rasstegayeva G.A., Rasstegayeva L.N. Armirovanny asfal'tobeton s primeneniym aktivnykh mineral'nykh otkhodov i po-bochnykh produktov promyshlennosti [Reinforced asphalt concrete with the use of active mineral waste and industrial by-products]. *Stroitel'nyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka*. 2000; 9(18): 10 (in Russian).

13. Gorelysheva, L. A. Teoreticheskiye aspekty vzaimodeystviya razlichnykh poroshkoobraznykh materialov s organicheskimi vyazhushchimi [Theoretical aspects of the interaction of various powder materials with organic binders]. *Puti ekonomii material'nykh i energeticheskikh resursov pri remonte i rekonstruktsii avtomobil'nykh dorog*. Moscow, 1989; 1: 29–35 (in Russian).

14. Barkhatov V.I., Dobrovol'skiy I.P., Kapkayev Yu.Sh. Otkhody proizvodstv i potrebleniya – rezerv stroitel'nykh materialov [Production and consumption waste – building materials reserve]: monografiya. Chel-yabinsk: Izd-vo Chelyab. gos. un-ta, 2017; 477 (in Russian).

15. Bazhenov Yu. M., Shubenkin P.F., Dvorkin L. I. Primeneniye promyshlennykh otkhodov v proizvodstve stroitel'nykh materialov [Application of industrial waste in the production of building materials]. Moscow, Stroyizdat, 1986 (in Russian).

16. Larionova N.A., Nikolayeva S.K., Ryabova A.A. Otsenka vozmozhnosti ispol'zovaniya promyshlennykh otkhodov dlya polucheniya stroitel'nykh materialov dlya dorozhnogo stroitel'stva [Assessment of the possibility of using industrial waste to obtain building materials for road construction]. *Innovatsionnyy potentsial yestestvennykh nauk*. 2006; 157–162 (in Russian).

17. Kashevskaya Ye.V., Kostenko K.K., Kostenko A.K. Ispol'zovaniye otkhodov proizvodstva i vtorichnykh

resursov v dorozhnom stroitel'stve [Use of industrial waste and secondary resources in road construction]. *Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli*. 2004; 2 (29): 30–33 (in Russian).

18. Khasanova V.K., Shil'nikova N.V. Problema utilizatsii promyshlennykh otkhodov v Rossii na sovremennom etape yeyo razvitiya [Problem of industrial waste disposal in Russia at the present stage of its development]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2012.; 15 (2): 76–78 (in Russian).

19. Sentsov I.V., Nichiporovich Ye.D., Spitskaya A.SH., Tsygvintsev I.V., Matirnyaya P.I., Shavva A.A., Novik A.N., Promyshlennyye otkhody i TBO v dorozhnom stroitel'stve [Industrial waste and MSW in road construction]. *Alfabuild*. 2018; 3 (5): 52–65 (in Russian).

20. Bessonov A.S. Tekhnologii resursosbere-zheniya v stroitel'stve i ikh primeneniye na sovremennom etape [Resource-saving technologies in construction and their application at the modern stage]. *Sovremennyye nauchnyye issledovaniya i innovatsii*. 2017; 2: URL: <http://web.snauka.ru/issues/2017/02/78083> (in Russian).

21. Yarmolinskaya N.I. Dorozhnyy asfal'tobeton s primeneniym mineral'nykh poroshkov iz tekhnogen-nykh otkhodov promyshlennosti [Road asphalt using mineral powders from industrial waste]. Khabarovsk: *Izd-vo khabarov. gos. tekhn. un-ta*. 2002; 103 p. (in Russian).

22. Goncharova M. A. Ispol'zovaniye kon-verternykh shlakov v proizvodstve materialov dlya dorozhnogo stroitel'stva [Use of converter slags in the production of materials for road construction]. *Stroitel'nyye materialy*. 2009; 7: 26–27 (in Russian).

23. Pimenov A.T., Il'ina L.V., Smirnova O.Ye. Kontseptual'nyye podkhody k primeneniyu metallurgicheskikh shlakov pri proizvodstve stroitel'nykh materialov razlichnogo naznacheniya [Conceptual approaches to the use of metallurgical slag in the production of building materials for various purposes]. *Resursoenergoefektivnyye tekhnologii v stroitel'nom komplekse regiona-2018*; 1 (9): 179–182 (in Russian).

24. Pimenov A.T., Pribylov V.S. Vliyaniye st-aleplavil'nykh shlakov v sostave asfal'tobetona dorozhnykh pokrytiy na ikh svoystva v protsesse ekspluatatsii [Influence of steelmaking slag in the composition of asphalt concrete pavement on their properties during operation]. *Resursosberezheniye i ekologiya stroitel'nykh materialov, izdeliy i konstruksiy*. 2018; 306–309 (in Russian).

25. Pimenov A.T., Pribylov V.S. Modifikatsiya sos-tavov metallurgicheskikh shlakov dlya povysheniya ikh gidravlicheskoy aktivnosti [Modification of the composition of metallurgical slag to increase their hydraulic activity]. *Sovremennyye materialy, tekhnika i tekhnologii*. 2018; 6(21): 106–113 (in Russian).

## **ВКЛАД СОАВТОРОВ**

*Пименов А.Т. Участие в обработке и анализе результатов экспериментов. Проверка и корректировка научной статьи.*

*Прибылов В.С. Выполнение анализа литературных источников и тематических материалов.*

Участие в проведении экспериментов, обработка и анализ результатов. Написание и оформление текстового и графического материала для научной статьи. Взаимодействие с испытательными лабораториями.

#### AUTHORS' CONTRIBUTION

*Alexander T. Pimenov – participation in the processing and analysis of experimental results; checking and updating of the manuscript.*

*Viacheslav S. Pribylov – analysis of literary sources and thematic materials; participation in experiments; processing and analysis of results; writing and designing of the text and graphic material; cooperation with testing laboratories.*

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Пименов Александр Трофимович – д-р техн. наук, проф. кафедры «Строительные материалы, стандартизация и сертификация» ФГБОУ ВО НГАСУ (Сибстрин), (630008, г. Новосибирск-8,

ул. Ленинградская, 113, e-mail: [pimenov.alecsandr@yandex.ru](mailto:pimenov.alecsandr@yandex.ru)).

Прибылов Вячеслав Сергеевич – аспирант кафедры «Строительные материалы, стандартизация и сертификация» ФГБОУ ВО НГАСУ (Сибстрин), (630008, г. Новосибирск-8, ул. Ленинградская, 113, e-mail: [pribylov\\_ws@mail.ru](mailto:pribylov_ws@mail.ru)).

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Alexander T. Pimenov – Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Department of the Building Materials, Standardization and Certification, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), (630008, Novosibirsk-8, 113, Leningradskaya St., e-mail: [pimenov.alecsandr@yandex.ru](mailto:pimenov.alecsandr@yandex.ru)).*

*Viacheslav S. Pribylov – Graduate Student, Department of the Building Materials, Standardization and Certification, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), (630008, Novosibirsk-8, 113, Leningradskaya St., e-mail: [pribylov\\_ws@mail.ru](mailto:pribylov_ws@mail.ru)).*