



DOI: 10.52409/20731523_2022_1_54
УДК 625.7

Высокопрочный серощебень из карбонатных пород для устройства оснований в конструкциях дорожных одежд

А.Ю.Фомин¹, Р.Н. Аскарлова², В. Г. Хозин¹

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

²Казанский научно-исследовательский технологический университет, г. Казань, Российская Федерация

Аннотация: отсутствие карьеров высокопрочных каменных материалов на большей территории Европейской части России, и в том числе в Республике Татарстан, обуславливает поиск и применение альтернативных по свойствам материалов. Кроме того, транспортные расходы на перевозку щебня из прочных горных пород железнодорожным транспортом, в основном с территории Урала, для целей дорожного строительства, достигают 30-50 % от стоимости щебня. Поэтому эффективным альтернативным решением является технологическая обработка щебня из малопрочных пород расплавом серы, с получением нового материала – высокопрочного щебня (серощебня). Ранее серные отходы широко использовались для получения асфальтобетонных смесей, в данной работе предлагается укрепление самого заполнителя, т.е. карбонатного щебня местного происхождения. Цель исследования состоит в разработке и изучении свойств высокопрочного щебня из карбонатных пород, полученного методом его пропитки расплавом серы.

Основные результаты исследования состоят в достижении требуемых технических свойств карбонатного щебня, обработанного серой: снижении водопоглощения (в 2-16 раз), объема капиллярной пористости (в 7-11 раз), повышении гидрофобности, водостойкости, марки по дробимости (в 2-2,5 раза), истираемости и морозостойкости.

Значимость полученных результатов для дорожно-строительной отрасли состоит в обеспечении проектных технических характеристик и долговечности оснований конструкций дорожных одежд автомобильных дорог, с применением карбонатного щебня, обработанного серой, при снижении их стоимости.

Ключевые слова: строительные материалы, основание автомобильной дороги, щебень, сера, пропитка, укрепление, серощебень.

Для цитирования: Фомин А.Ю., Аскарлова Р.Н., Хозин В. Г. Высокопрочный серощебень из карбонатных пород для устройства оснований в конструкциях дорожных одежд//Известия КГАСУ 2022 № 1(59). С 54-63. DOI: 10.52409/20731523_2022_1_54

High-strength crushed stone from carbonate rocks for the arrangement of bases in road pavement structures.

A.Y.Fomin¹, R.N. Askarova², V.G. Khozin¹

¹Kazan State University of Architecture and Engineering

²Kazan National Research Technological University

Abstract: the absence of quarries of high-strength stone materials in most of the European part of Russia, including in the Republic of Tatarstan, determines the search and application of materials, which are alternative in terms of properties. In addition, transportation costs for delivering crushed stone from solid rocks by rail, mainly from the territory of the Urals, for road construction purposes, reach 30-50% of the cost of crushed stone. Therefore, an effective

alternative solution is the technological processing of crushed stone from low-strength rocks with sulfur melt, which leads to the production of a new material - high-strength crushed stone (sulfur stone). It can be said that earlier, sulfur waste was widely used to produce asphalt concrete mixtures, in this study it is proposed to strengthen the aggregate itself, i.e. carbonate crushed stone of local origin. The purpose of the study is to develop and study the properties of high-strength crushed stone from carbonate rocks obtained by impregnating it with sulfur melt. The main results of the study consist in achieving the required technical properties of carbonate crushed stone treated with sulfur: a decrease in water absorption (2-16 times), the volume of capillary porosity (7-11 times), an increase in hydrophobicity, water resistance, grade crushing (2-2.5 times), abrasion and frost resistance.

The significance of the results obtained for the road construction industry consists in ensuring the design technical characteristics and durability of the bases of road pavement structures, using carbonate crushed stone treated with sulfur, while reducing their cost.

Keywords: building materials, highway base, crushed stone, sulfur, impregnation, strengthening, sulfur stone.

For citation: Fomin A.Y., Askarova R.N., Khozin V.G. High-strength crushed stone from carbonate rocks for the arrangement of bases in road pavement structures//News KSUAE 2022 № 1(59). С 54-63. DOI: 10.52409/20731523_2022_1_54

1. Введение

В настоящее время важной задачей дорожной отрасли Российской Федерации является эффективное расходование бюджетных средств при сохранении качества и темпов строительства автомобильных дорог. С ростом интенсивности транспортных потоков дорожные одежды, и, в частности, щебеночные основания автомобильных дорог в большей степени испытывают нагрузку от движущегося транспорта.

Так, например, одной из тем Форума устойчивого развития «Общее будущее» (2019г.) являлась модернизация и расширение всей транспортной инфраструктуры России, улучшение ее доступности, пространственное развитие, развитие дорожной сети и т.д. Также внимание было уделено безопасному и эффективному обращению с отходами производства и потребления и созданию современных условий для их вторичной переработки. В связи с этим, в экономических целях и для повышения качества строящихся автомобильных дорог, актуальным является применение отходов и побочных продуктов промышленности [1].

Транспортная сеть России является одной из самых протяженных в мире. Она включает в себя 1,171 млн. км автодорог с твердым покрытием, 86 тыс. км железнодорожных путей общего пользования и 34 тыс. км путей необщего пользования, 102 тыс. км водных судоходных путей, 250 тыс. км трубопроводов. В нашей стране на каждую тысячу квадратных километров приходится только 64 км дорог, из которых твердое покрытие уложено только на 70,6 %. Доля автомобильных дорог общего пользования регионального или межмуниципального значения, не отвечающих нормативным требованиям составляет 55 %, а местного значения – около 50% [2, 3].

В последнее время приоритетным направлением в дорожно-строительном материаловедении является применение укрепленных каменных материалов, грунтов, песчано-гравийных смесей. Отсутствие в Республике Татарстан высокопрочного щебня – одна из основных проблем дорожного строительства. Укрепление слабого щебня можно производить путем его пропитки расплавом технической серы [4-5]. В результате такой технологической обработки достигается низкая пористость и гидрофобизация поверхностных слоев частиц щебня, увеличивается прочность и как следствие – повышается долговечность оснований дорожных одежд, расширяется область применения такого щебня в строительной отрасли [4-7].

Техническую серу получают в результате переработки нефти, природного газа и цветных металлов в качестве побочного продукта. Полученные газообразные серные соединения, образующиеся при сублимации, отрицательным образом влияют на окружающую среду. На сегодняшний день эту проблему удалось решить с помощью инновационных технологий в области химии и технологии [8]. В связанном состоянии с

минеральными и некоторыми органическими веществами данные процессы сдерживаются, поэтому серосодержащие строительные материалы соответствуют санитарно-гигиеническим требованиям.

В строительной отрасли серу начали применять еще с конца девятнадцатого века, но из-за ее высокой стоимости на тот момент, широкого распространения технология серосодержащих материалов не получила. Сейчас в США, Канаде, Казахстане, Польше, Мексике и России производство серы превышает ее потребление, а себестоимость материалов на ее основе потенциально ниже традиционных строительных материалов (асфальтобетона, цементобетона).

В последней четверти 20-го века мировой объем производства серы в мире составлял более 10 млн. тонн в год, а количество неутилизированной серы – 25 млн. тонн [8, 9]. В период 2000-2010 г. г. года на предприятиях ТОО СП «Тенгизшевройл» (Казахстан) в среднем складировалось более 8 млн. тонн серы, что составляло чуть меньше половины мировых отвалов серы.

В России основной объем попутной серы выпускают предприятия ООО «АстраханьГазПром», ОАО «Норильский никель», ОАО «Среднеуральский медеплавильный завод», ОАО «Омский НПЗ», ОАО «БашкортостанНефтеЗавод».

В Республике Татарстан также много серообразующих предприятий. Так, «Минибаевский ППЗ», ОАО «ТАИФ-НК» и другие мелкие нефтеперерабатывающие заводы, а также Нижнекамский ОАО «ТАНЕКО» суммарно производят более 100 тыс. тонн серы в год.

Учитывая мировые мощности предприятий, прогнозируемый объем запасов серы, к 2030 году составит 58 млн. тонн [10-12]. Следовательно, уже сегодня существует проблема вторичной переработки серы как с экономической, так и с экологической точек зрения.

Научные исследования в области свойств элементной серы и ее практического применения ведутся в большинстве стран мира. Основным материалом, нашедшим широкое применение, является сероасфальтобетон [4-7], обладающий большими прочностными характеристиками и сдвигустойчивостью. Сероасфальтобетон в разное время применяли в ряде стран: США, Канаде, Чехии, Франции, Польше. Широкого распространения технология не получила ввиду санитарно-гигиенического несовершенства производства смеси и ее укладки в покрытие. Однако в отверженном состоянии сероасфальтобетон экологически безопасен.

Вторым наиболее исследованным материалом является серный бетон (серобетон). О возможности его получения было известно еще с XVII века, но более подробно он был изучен в 70-х годах XX века в США. По сравнению с материалами на основе портландцемента у серобетона более низкие показатели водопоглощения и водопроницаемости, высокая химическая стойкость, сопротивление к воздействию окружающей среды и морозостойкость [13-15]. Многие работы в этой области основаны на результатах теоретических и экспериментальных исследований ученых Богуславского А.М., Волкова М.И., Гезенцева Л.Б., Горельшева Н.В., Калгина Ю.И., Ковалева Я.Н., Колбановской А.С., Королева И.В., Котлярского Э.В., Печеного Б.Г., Ребиндера П.А., Руденского А. В., Рыбьева И.А., Сахарова П.В., Волгушева А.Н., Патуроева В.В., Орловского Ю.И. и др.

Еще одним из эффективных способов применения серы является ее использование в качестве модификатора свойств строительных материалов и изделий, которое заключается в придании им новых улучшенных качеств (гидрофобности, снижение объемной пористости). Таким образом могут обрабатываться древесина, керамика, плотные и ячеистые бетоны с целью упрочнения (усиления) и повышения их долговечности. Результаты данных работ опубликованы в трудах Волгушева А.Н., Патуроева В.В. и др. [16-17] К группе подобных материалов относятся каменные материалы из карбонатных пород, применяемые в широком спектре строительных и строительно-отделочных работ и производстве минеральных вяжущих.

Анализ состояния минерально-сырьевой базы Республике Татарстан показал, что на ее территории имеется 340 месторождений карбонатных пород, 66 из которых учитываются балансами строительного и пильного камня, сырья для производства извести, магнезиальных вяжущих и известняковой муки (в том числе 7 объектов проходят по двум балансам). Также сравнительный анализ физико-химического состава пород показал их

неоднородность по прочности и плотности и минералогическому составу. Так, плотность может варьироваться от 1570 до 2710 кг/м³, а прочность при сжатии от 10 до 100 МПа. При этом среднее значение прочности при сжатии в цилиндре не превышает 400 кгс/см², а содержание оксидов Mg(CO)₃ отличается на десятки процентов в пределах одного месторождения [18-21]. По данным геологических фондов «ЦНИИГеолнеруд» в массе пород осадочного происхождения преобладают карбонатные породы – известняки и доломиты различных типов:

- кальцит-доломитовый подтип, месторождения данного подтипа представлены доломитами и известковыми доломитами;
- доломит-кальцитовый подтип, эти породы большей частью сложены доломитовыми известняками;
- кальцитовый подтип, большинство месторождений карбонатных пород РТ входят в этот подтип.

Эти породы представлены доломитистыми известняками.

Наибольшее количество месторождений, включая мелкие, находятся в Альметьевском, Высокогорском и Лениногорском районах. Отсутствуют месторождения карбонатных пород в Западном Закамье (Аксубаевский, Алексеевский, Алькеевский, Октябрьский районы) и на востоке республики (Актанышский, Мензелинский районы).

Согласно данным, опубликованным в «Концепции стратегии развития капитального строительства РТ до 2030 года» [8], Татарстан располагает следующими запасами минерального карбонатного сырья для различных производств: щебня – 178137,6 тыс. м³, пильного камня – 15039 тыс. м³, декоративно-отделочного камня – 823,5 тыс. м³, известковых вяжущих – 68532,5 тыс. т, магниезальных вяжущих – 3647,5 тыс. т, мелиорантов почв – 101882,8 тыс. т. Это свидетельствует о возможности самообеспечения республики сырьем для производства высокопрочного щебня.

Основным видом строительной продукции, производимой из карбонатных пород, является щебень в виде фракций: 20-40, 40-60, 60-80 мм. Основной областью его применения является дорожное строительство. При этом согласно требованию СП 34.13330.2012 и дорожно-строительной классификации, карбонатный низкомарочный щебень можно применять только для устройства оснований в конструкциях дорожных одежд автомобильных дорог низких категорий. Также карбонатный щебень можно применять в легких и крупнопористых бетонах в качестве заполнителя и в производстве минерального порошка для асфальтобетонных смесей. То есть низкомарочный щебень, в целом малопригоден для целей дорожного строительства, а также для производства цементных бетонов. При этом его эффективно применять в производстве органоминеральных смесей, укрепленных органическими или минеральными вяжущими, а также после обработки битумом (черный) щебень или битумной эмульсией; при устройстве оснований, построенных по способу пропитки или полупропитки. Метод пропитки щебня растворами лигносульфонатов позволяет достичь более высокой марки щебня, но недостатком процесса является его длительность, около 12 часов. В основе данных методов лежит принцип снижения объема капиллярной пористости материала для придания ему большей водостойкости и морозостойкости.

Метод повышения прочности карбонатного щебня имеет определенные преимущества перед другими способами обработки. Так, технология «черного щебня» или способ обработки методом насыщения сверхкритическим флюидом (пропитка битумом и нефтью) обеспечивает снижение водопоглощения щебня в два раза при максимальной прочности в 600 кгс/мм², а предлагаемый нами метод снижает водопоглощение в среднем на 70 % при увеличении прочности в 2-4 раза. Пропитка же серным расплавом занимает около 5-15 мин, в зависимости от структуры и объема порового пространства щебня. Отличительной чертой взаимодействия карбонатного щебня с расплавленной серой является их интенсивное взаимодействие вследствие низкой вязкости расплава серы в сравнении, например, с расплавом битума (в 2-2 раза), в результате которого молекулы серы проникают в мельчайшие поры осадочной породы, обеспечивая высокую адгезию между собой. Благодаря явлению капиллярного всасывания обеспечивается заполнение порового пространства серой до глубоких слоев породы.

В условиях нынешней экономики и строительной политики, актуальным является использование местного сырья для уменьшения цены готовых продуктов, а также

применение отвалов серы республиканских нефтеперерабатывающих предприятий с целью монетизации отходов и качественного улучшения свойств материалов. В связи с этим целью работы является разработка метода пропитки карбонатного щебня расплавом серы с целью его гидрофобизации и упрочнения и изучение свойств полученного высокопрочного щебня.

Задачами исследования являются разработка метода пропитки карбонатного щебня расплавом серы, исследование физико-механические свойства серощебня, его структуры, а также свойств поверхности. С учетом полученных результатов и свойств серощебня необходимо определить области его применения в дорожном строительстве.

2. Материалы и методы

Для получения серощебня использовались техническая сера и малопрочный карбонатный щебень:

— щебень из осадочных горных пород марки М400, соответствующий ГОСТ 8267-93. Щебень фракции 5-20 отобран в карьерах с. Альдермыш, с. Атна и д. Татарское Ходяшево (Республика Татарстан).

— сера техническая S8, ГОСТ 127.1-93. Продукт газоочистки предприятия «Татнефтегазпереработка» ОАО «Татнефть» (г. Альметьевск). Порошок желтого цвета. Температура плавления $T_{пл} = 112,8$ °С, температура воспламенения $T_{восп.} = 261$ °С, относительная плотность $d^{20} = 1,96$ кг/м³;

Приготовление образцов обработанного щебня осуществлялось в следующей последовательности. Сначала промытый мокрый щебень сушили в сушильном шкафу при температуре 100-110 °С до постоянной массы, в течение 1-2 ч., в зависимости от исходной влажности щебня. Затем в сушильном шкафу, оборудованном вытяжной вентиляцией расплавили серу в лабораторной эмалированной кювете, при температуре 120-130 °С. Далее просушенный горячий щебень раскладывали в один слой на дно посуды так, чтобы он полностью погрузился в расплав серы. Кювету помещали снова в сушильный шкаф и выдерживали 10-15 минут, при температуре 155 °С для активации диффузионных процессов, поскольку при данной температуре расплав серы имеет минимальную вязкость, при которой он равномерно распределяется по поверхности щебня и максимально проникает в поры породы. Остаток серы не вступивший во взаимодействие со щебнем сливали в отдельную тару. Затем обработанный щебень охлаждали при комнатной температуре в воздушно-сухих условиях. Процесс получения серощебня в лабораторных условиях занимает около двух-трех часов, включая сушку и нагрев щебня, приготовление расплава серы, пропитку и охлаждение готового серощебня.

Сравнительные испытания контрольных образцов щебня и серощебня на марку по дробимости, количество зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм, содержание пылевидных и глинистых частиц, водопоглощение и пористость проводились в соответствии с методиками, указанными в ГОСТ 8269.0-97.

3. Результаты

В ходе лабораторных испытаний получены основные значения показателей свойств серощебня: водопоглощение, пористость, марка по дробимости и истираемости, установлены процентное содержание зерен пластинчатой формы и пылевидных частиц в образцах до обработки и после пропитки их расплавом серы.

В таблицах 1-3 приведены сравнительные показатели физико-механических свойств исходного и обработанного серой щебня карьеров с. Чепчуги, д. Татарское Ходяшево, с. Атна Республики Татарстан

Таблица 1

Сравнительные показатели физико-механических свойств щебня карьера в с. Чепчуги Республики Татарстан

№ п/п	Наименование показателя	Значение показателя	
		до обработки серой	после обработки серой
1	Содержание в % по массе: – зёрен пластинчатой (лещадной) формы – пылевидных и глинистых частиц	7-13 % 2,3 %	до 1,2 % не наблюдается
2	Марка по дробимости	М 400	М 1000
3	Марка по истираемости	И2-И3	И3-И4
4	Водопоглощение, %	5-8 %	0,5-1,3 %
5	Пористость, %	8,7-21,4 %	3,3 %

Таблица 2

Сравнительные показатели физико-механических свойств щебня карьера в д. Татарское Ходяшево Республики Татарстан

№ п/п	Наименование показателя	Значение показателя	
		до обработки серой	после обработки серой
1	Содержание в % по массе: – зёрен пластинчатой (лещадной) формы – пылевидных и глинистых частиц	27,5 % 1,5 %	не изменилась не наблюдается
2	Марка по дробимости	М 400	М 600
3	Марка по истираемости	И3	И3
4	Водопоглощение, %	4,7 %	1,8 %
5	Пористость, %	11 %	1 %

Таблица 3

Сравнительные показатели физико-механических свойств щебня карьера в с. Атня Республики Татарстан

№ п/п	Наименование показателя	Значение показателя	
		до обработки серой	после обработки серой
1	Содержание в % по массе: – зёрен пластинчатой (лещадной) формы – пылевидных и глинистых частиц	3-26,5 % 12,3 %	до 4 % не наблюдается
2	Марка по дробимости	М 300	М 600
3	Марка по истираемости	И3	И3
4	Водопоглощение, %	7,5-10 %	2,9 %
5	Пористость, %	21 %	3 %

4. Обсуждение и описание результатов

Как видно из данных, приведенных в таблицах 1-3, исходный карбонатный щебень обладает достаточно высокой пористостью, большим количеством пылевидных и глинистых частиц. Обработанный щебень полностью лишен пылевидных и глинистых частиц в связи с предварительной промывкой, а лещадность с карьеров с. Атня и с. Чепчуги значительно снижается в пределах от 6 до 10 раз. Марка по истираемости незначительно выросла лишь во втором случае, что говорит о том, что пропитка щебня расплавом серы практически не влияет на данное свойство.

Показатель водопоглощения обработанного щебня в среднем снижается в 6,3 раза в зависимости от месторождения в связи с отличительными особенностями их минерального состава. Образующийся в результате пропитки известнякового щебня расплавом серы градиентный приповерхностный слой с более плотной структурой препятствует проникновению воды в поровое пространство и обеспечивает его надежное капсулирование.

Пористость – еще один важный показатель, который в среднем снижается в 6,7 раз в следствии пропитки щебня расплавленной серой. Значительное снижение пористости закономерно может привести к увеличению морозостойкости щебня, что увеличит срок эксплуатации данного материала.

Процесс проникновения жидкого расплава серы в поры карбонатного щебня увеличивает его плотность. При изменении плотности щебня на 10-11 %, в разы изменяется его прочностные показатели, такие как марка по дробимости. Так, исходный щебень карьера Чепчуги имеет марку по дробимости М400 до обработки и М1000 после. Наименьший прирост прочности с 400 до 600 наблюдается у щебня месторождения Татарское Ходяшево, что по-видимому обусловлено затруднением проникновения расплава серы в объем обрабатываемого материала в связи с особенностями размеров и строения пор в щебне данного месторождения.

5. Заключение

1. Разработан и освоен метод пропитки местного карбонатного щебня жидким расплавом серы в лабораторных условиях.
2. Исследованы физико- механические свойства полученного серощебня. Показано, что в результате обработки щебня расплавом серы, достигается увеличение его марки по дробимости, что объясняется повышением плотности материала на 10-11 % за счет заполнения пор, при этом лещадность снижается от 6 до 10 раз.
3. Разработанный метод обработки снижает пористость щебня, а благодаря ярко выраженным гидрофобным свойствам поверхности, серощебень имеет выраженную сопротивляемость к воздействию воды.
4. Из анализа полученных результатов и их сравнения с требованиями ГОСТ 8267-93 и ГОСТ 9128-2013, следует, что полученный материал может применяться в сфере дорожного строительства для устройства оснований автомобильных дорог и производстве асфальтобетона.

Список литературы

1. Международный Форум устойчивого развития «Общее будущее»// общебудущее.рф : сайт ежегодного Международного форума устойчивого развития. 2019 URL: <https://xn--90aaјсаса9d6bb4dg.xn--p1ai/> (дата обращения: 02.10.2020).
2. Обзор российского транспортного сектора в 2019 году // kmpg.ru: сайт РФПИ 2020 URL: <https://ru.investinrussia.com/data/file/ru-ru-russian-transport-survey.pdf> (дата обращения 02.10.2020).
3. Экономика России, цифры и факты. Часть 3 Транспорт // <https://unitedtraders.com>: сайт компании ООО «ИЦ Юнайтед Трейдерс» 2015 URL: <https://utmagazine.ru/posts/10280-ekonomika-rossii-cifry-i-fakty-chast-3-transport> (дата обращения 02.10.2020)
4. Фомин А. Ю., Хозин В. Г. Новые серосодержащие материалы для дорожного строительства // Строительные материалы. 2016. № 12. С. 80–82.
5. Вдовин Е. А., Фомин А. Ю., Хафизов Э. Р. Effective stone mastic asphalt with the use of stabilizing additives of multifunctional action // Инженерно-строительный журнал. 2019. № 8. С. 154-161.
6. Хозин В.Г., Хохряков О.В., Низамов Р.К. Карбонатные цементы низкой водопотребности - перспективные вяжущие для бетонов // Бетон и железобетон. 2020. № 1 (601). С. 15-28.
7. Mukhametrakhimov R., Lukmanova L. Influence of the technological properties of cement-sand mortar on the quality of 3D printed products: сб. Ст. IOP Conference series: Materials Science and Engineering. Kazan, Russia, 2020. С. 012082.
8. Анисимов В. Н., Булгаков И. С., Гасиев Г. К. Решение геоэкологических проблем безопасности и глубокой переработки природно-техногенных месторождений // Горная промышленность 2012. № 6. С. 64-68.
9. Гарифуллин Р. Г., Фахрутдинов Р. З., Гарифуллин А. Р. История утилизации попутного нефтяного газа в Татарстане // Вестник Казанского технологического университета. 2014. № 13. С. 314-317.
10. Бадикова, А. Д. Разработка комплексных технологий переработки серосодержащих отходов нефтеперерабатывающих производств с получением целевых

продуктов: специальность 05.17.07 "Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ": автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Бадикова Альбина Дарисовна. – Уфа, 2013. – 42 с.

11. Senibabnov S. A., Andrianov K. A., Zubkov A. F. Method of development of technology for the device of road structures using asphalt granulate // Russian Journal of Building Construction and Architecture. 2020. № 2 (46). С. 51-70.

12. Solovieva V., Stepanova I., Soloviev D. High-strength concrete with improved deformation characteristics for road surfaces // Lecture notes in civil engineering, 2020. № 50. С. 339-345. DOI: 10.1007/978-981-15-0454-9-35.

13. Tuan H. Le., Inozemtcev S., Korolev E., Grishina A. The efficiency of sulfur modifier to neutralize toxic gases in sulfur-asphalt concrete technology: dig. of art. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. С. 032016. DOI: 10.1088/1757-899X/869/3/032016.

14. Sakib N., Bhasin A., Islam M. K., Khan K., Khan M. I. A review of the evolution of technologies to use sulphur as a pavement construction material // International Journal of Pavement Engineering. 2019. DOI: 10.1080/10298436.2019.1612064.

15. Irkinovich K.I., Umaraliyevich K.I., Urmonjonovich A.A. Improvement of asphalt concrete shear resistance with the use of a structure-forming additive and polymer // International Journal of Scientific and Technology Research. 2019. Т. 8. № 11. С. 1361-1363. DOI: 10.1088/1757-899X/775/1/012124.

16. Авторское свидетельство № 1393824 А1 СССР, МПК С04В 28/36. Композиция для изготовления строительных изделий и конструкций: № 4099230: заявл. 05.08.1986: опубл. 07.05.1988 / В. В. Патуроев, А. Н. Волгушев, Н. Ф. Шестеркина, В. А. Еремина; заявитель Научно-исследовательский институт бетона и железобетона Госстроя СССР.

17. Шаяхмедов Р.И., Утегенов Б.Б. К вопросу о долговечности серного асфальтобетона, или предварительная оценка увеличения срока службы дорожного полотна при замене асфальта на сероасфальт // Перспективы развития строительного комплекса. 2013. Т. 1. С. 23-28.

18. Mavliev L., Bulanov P., Vdovin E., Zaharov V., Gimazov A. Road soil cement with complex additives based on organosilicon compounds and electrolytes // ZKG International. 2016. Т. 69. № 9. С. 49-54.

19. Durability of Concrete with Man-made Thermoplastic Sulfur Additive / A. Gumeniuk, R. Hela, I. Polyanskikh [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : XXIII International Scientific Conference on Advance in Civil Engineering: "CONSTRUCTION - THE FORMATION OF LIVING ENVIRONMENT" (FORM-2020), Hanoi, Vietnam, 23–26 сентября 2020 года. – Hanoi, Vietnam: IOP Publishing Ltd, 2020. – P. 032012. DOI 10.1088/1757-899X/869/3/032012.

20. A critical review on the properties and applications of sulfur-based concrete / R. Fediuk, Y. H. Mugahed Amran, M. A. Mosaberpanah [et al.] // Materials. – 2020. – Vol. 13. – No 21. – P. 1-23. DOI 10.3390/ma13214712.

21. Properties of sulfur-extended asphalt concrete / V. A. Gladkikh, E. V. Korolev, D. Husid, I. Sukhachev // MATEC Web of Conferences : 5th International Scientific Conference on Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education, IPICSE 2016, Moscow, 16–17 октября 2016 года. – Moscow: EDP Sciences, 2016. – P. 04024. DOI 10.1051/mateconf/20168604024.

References

1. International Forum of Sustainable Development "Common future"/general future.RF : website of the annual International Forum for Sustainable Development. 2019 URL: <https://xn--90aajcaca9d6bb4dg.xn--p1ai/> (accessed: 02.10.2020).

2. Overview of the Russian transport sector in 2019 // kmpg.ru: RFPI 2020 website URL: <https://ru.investinrussia.com/data/file/ru-ru-russian-transport-survey.pdf> (accessed 02.10.2020).

3. The Russian economy, figures and facts. Part 3 Transport // [https://unitedtraders.com:](https://unitedtraders.com/) website of IC United Traders LLC 2015 URL: <https://utmagazine.ru/posts/10280-ekonomika-rossii-cifry-i-fakty-chast-3-transport> (accessed 02.10.2020)

4. Fomin A. Yu., Khozin V. G. New sulfur-containing materials for road construction // Building materials. 2016. No. 12. pp. 80-82.

5. Vdovin E. A., Fomin A. Yu., Hafizov E. R. Effective stone mastic asphalt with the use of stabilizing additives of multifunctional action // *Civil Engineering magazine*. 2019. No. 8. pp. 154-161.
6. Khozin V.G., Khokhryakov O.V., Nizamov R.K. Carbonate cements of low water demand - promising binders for concrete // *Concrete and reinforced concrete*. 2020. No. 1 (601). pp. 15-28.
7. Mukhametrakhimov R., Lukmanova L. Influence of the technological properties of cement-sand mortar on the quality of 3D printed products: Sat. St. IOP Conference series: Materials Science and Engineering. Kazan, Russia, 2020. p. 012082.
8. Anisimov V. N., Bulgakov I. S., Gasiev G. K. The solution of geocological problems of safety and deep processing of natural and man-made deposits // *Mining industry* 2012. No. 6. pp. 64-68.
9. Garifullin R. G., Fakhrutdinov R. Z., Garifullin A. R. The history of utilization of associated petroleum gas in Tatarstan // *Vestnik Kazan Technological University*. 2014. No. 13. pp. 314-317.
10. Badikova, A.D. Development of complex technologies for processing sulfur-containing waste from oil refining industries with the production of target products: specialty 05.17.07 "Chemical technology of fuel and high-energy substances": abstract of the dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences / Badikova Albina Darisovna. - Ufa, 2013. -42 p.
11. Senibabnov S. A., Andrianov K. A., Zubkov A. F. Method of developing technology for the construction of road structures using asphalt concrete granulate // *Russian Journal of Construction and Architecture*. 2020. No. 2 (46). pp. 51-70.
12. Solovyova V., Stepanova I., Solovyov D. High-strength concrete with improved deformation characteristics for road surfaces // *Lecture notes on civil engineering*. 2020. No. 50. pp. 339-345. DOI: 10.1007/978-981-15-0454-9-35.
13. Tuan H. L., Inozemtsev S., Korolev E., Grishina A. The effectiveness of a sulfur modifier for neutralizing toxic gases in the technology of sulfur asphalt concrete: dig. art. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. p. 032016. DOI: 10.1088/1757-899X/869/3/032016
14. Sakib N., Bhasin A., Islam M. K., Khan K., Khan M. I. Review of the evolution of technologies for the use of sulfur as a building material for pavement // *International Journal of Road Construction Machinery*. 2019. DOI: 10.1080/10298436.2019.1612064.
15. Irkinovich K.I., Umaralievich K.I., Urmonjonovich A.A. Increasing the resistance of asphalt concrete to shear using a structure-forming additive and polymer // *International Journal of Scientific and Technological Research*. 2019. № 8. № 11. № 1361-1363. DOI: 10.1088/1757-899X/775/1/012124.
16. Copyright certificate No. 1393824 A1 USSR, IPC C04B 28/36. Composition for the manufacture of building products and structures: No. 4099230: application. 05.08.1986 : publ. 07.05.1988 / V. V. Paturoev, A. N. Volgushev, N. F. Shesterkina, V. A. Eremina ; applicant Scientific Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete Gosstroy USSR.
17. Shayakhmedov R.I., Utegenov B.B. On the question of the durability of sulfur asphalt concrete, or a preliminary assessment of the increase in the service life of the roadway when replacing asphalt with gray asphalt // *Prospects for the development of the construction complex*. 2013. Vol. 1. pp. 23-28.
18. Mavliev L., Bulanov P., Vdovin E., Zakharov V., Gimazov A. Cement for road soil with complex additives based on organosilicon compounds and electrolytes // *ZKG International*. 2016. No. 69. No. 9. pp. 49-54.
19. Durability of concrete with the addition of artificial thermoplastic sulfur / A. Gumenyuk, R. Hela, I. Polyanskikh [et al.] // IOP conference series: Materials Science and Engineering: XXIII International Scientific Conference on the Development of Civil Engineering: "CONSTRUCTION - FORMATION OF HABITAT" (FORM 2020), Hanoi, Vietnam, June 23-26, 2020. - Hanoi, Vietnam: IOP Publishing Ltd, 2020. - p. 032012. DOI 10.1088/1757-899X/869/3/032012.
20. A critical review of the properties and applications of sulfur-based concrete / R. Fedjuk, Y. H. Mugahed Amran, M. A. Mosaberpana [et al.] // *Materials*. - 2020. - Vol. 13. - No. 21. - pp. 1-23. DOI 10.3390/ma13214712.

21. Properties of asphalt concrete with the addition of sulfur / V. A. Gladkikh, E. V. Korolev, D. Khusid, I. Sukhachev // MATEC Web of Conferences : 5th International Scientific Conference on Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education, IPICSE 2016, Moscow, November 16-17, 2016. - М.: EDP Sciences, 2016. - p. 04024. DOI 10.1051/mateconf/20168604024.

Информация об авторах

Алексей Юрьевич Фомин, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

E-mail: fomin-al.78@mail.ru

Рушания Наилевна АскарOVA, аспирант, Казанский научно-исследовательский технологический университет, г. Казань, Российская Федерация

E-mail: ryshka08@gmail.com

Вадим Григорьевич Хозин, доктор технических наук, профессор, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

E-mail: khozin.vadim@yandex.ru

Information about the authors

Aleksey Y. Fomin candidate of technical sciences, associate professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: fomin-al.78@mail.ru

Rushaniya N. Askarova, postgraduate student, Kazan National Research Technological University, Kazan, Russian Federation

E-mail: ryshka08@gmail.com

Vadim G. Khozin, PhD in technical sciences, professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: khozin.vadim@yandex.ru