Реакционная способность альтернативных минеральных дисперсных материалов как инструмент для разработки эффективных дорожных композитов

Марина А. Высоцкая	¹	roruri@rambler.ru
Светлана Ю. Шеховцова	²	shehovtsovasyu@mgsu.ru
Дмитрий А. Кузнецов	¹	xidox@yandex.ru

¹ Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ул. Костюкова, 46, г. Белгород, 308012, Россия

² Московский государственный строительный университет, ш. Ярославское, 26, г. Москва, 129337, Россия

Аннотация. Лавинообразный рост интенсивности и грузонапряжённости транспортных потоков, ужесточение требований к качеству дорожных одежд, дефицит кондиционного минерального сырья во многих регионах РФ побуждают отрасль строительного материаловедения к поиску новых, перспективных методов повышения качества выпускаемой продукции. Дорожное строительство, одно из самых материалоемких направлений, ориентировано на максимальное использование местных, часто не кондиционных материалов, поэтому композиты, выполненные на их основе, не удовлетворяют современным эксплуатационным требованиям. В данной работе исследовался ряд пористых тонкодисперсных наполнителей, которые могли бы выполнять, с одной стороны, функции минерального порошка, с другой – служить носителем определённого вещества, регулирующего свойства дорожного композита. Выявление механизма взаимодействия минеральных порошков с битумом осуществляли с помощью изучения, поверхностных, физико-механических и химических свойств, а также микроструктурных особенностей и реакционной способности. Было установлено, что высокая пористость, характерная для наполнителей из перлита и цеолита обусловлена высокоразвитой архитектурой пор с диаметрами входных окон в широком диапазоне. Изучение химии поверхности твёрдого тела проводили посредством оценки поверхности, на которой имеются активные центры, обусловленные наличием гидроксильных групп и примесных центров. По результатам эксперимента было установлено, что увеличение содержания активных центров на поверхности минерального наполнителя прямо пропорционально его пористости. В результате проведенных исследований было установлено, что наиболее перспективным сырьём для органоминеральных композитов являются цеолиты. Они обладают развитой удельной поверхностью, уникальной архитектурой пор, высокой структурирующей и адсорбционной способностью.

Ключевые слова: высокодисперсные минеральные наполнители, керамзит, перлит, цеолит, реакционная способность, адсорбция.

Reaction ability of alternative mineral dispersed materials as a tool for developing efficient road composites

Marina A. Vysotskaya	¹	roruri@rambler.ru
Svetlana Yu. Shekhovtsova	²	shehovtsovasyu@mgsu.ru
Dmitry A. Kuznetsov	¹	xidox@yandex.ru

¹ Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Kostukov str., 46, Belgorod, 308012, Russian

² University of civil engineering, Yaroslavskoye h. 19, Moscow, 129337, Russian

Abstract. The avalanche-like growth of traffic intensity and freight traffic, the tightening of requirements for the quality of road clothes, the shortage of conditioned mineral raw materials in many regions of the Russian Federation prompt the construction materials science sector to search for new, promising methods for improving the quality of products. Road construction, one of the most material-intensive areas, is focused on maximizing the use of local, often non-conditioning materials, so composites made on their basis do not meet modern operational requirements. In this paper, a number of porous fine dispersed fillers have been investigated that could perform, on the one hand, the functions of a mineral powder, and on the other hand, serve as the carrier of a certain substance that regulates the properties of a road composite. The identification of the mechanism of interaction of mineral powders with bitumen was carried out by studying surface, physical-mechanical and chemical properties, as well as microstructural features and reactivity. It was found that the high porosity characteristic of fillers from perlite and zeolite is due to the highly developed pore architecture with the diameter of the entrance windows in a wide range. The study of the chemistry of the surface of a solid was carried out by evaluating the surface on which there are active centers due to the presence of hydroxyl groups and impurity centers. By the results of the experiment, it was found that an increase in the content of active sites on the surface of a mineral filler is directly proportional to its porosity. As a result of the conducted studies it was established that zeolites are the most promising raw material for organomineral composites. They have a developed specific surface, unique pore architecture, high structuring and adsorption capacity.

Keywords: highly disperse mineral fillers, expanded clay, perlite, zeolite, reaction ability, adsorption.

Для цитирования

Высоцкая М.А., Шеховцова С.Ю., Кузнецов Д.А. Реакционная способность альтернативных минеральных дисперсных материалов как инструмент для разработки эффективных дорожных композитов // Вестник ВГУИТ. 2019. Т. 81. № 1. С. 282–288. doi:10.20914/2310-1202-2019-1-282-288

For citation

Vysotskaya M.A., Shekhovtsova S.Yu, Kuznetsov D.A. Reaction ability of alternative mineral dispersed materials as a tool for developing efficient road composites. *Vestnik VGUET* [Proceedings of VSUET]. 2019. vol. 81. no. 1. pp. 282–288. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2019-1-282-288

Введение

Поиск и изучение альтернативных сырьевых минеральных материалов, пригодных для использования в качестве компонентов в асфальтобетонных смесях, является важной научно-практической задачей, решение которой обеспечит дорожным предприятиям возможность выбора материалов для получения качественных органоминеральных композитов.

В связи с этим актуальны вопросы не только поиска альтернативных сырьевых материалов, но и возможности путём их применения направленно регулировать структуру и свойства конечного композита. Применительно к производству асфальтобетона интерес может представлять широкий спектр пористых материалов, в том числе и техногенного происхождения, массовое использование которых в дорожной отрасли в настоящее время ограничено.

Цель работы – исследование ряда пористых тонкодисперсных наполнителей, которые могли бы выполнять, с одной стороны, функции минерального порошка, с другой – служить носителем определённого вещества, регулирующего свойства дорожного композита.

В поле зрения исследователей попадают такие дисперсные пористые материалы, как шунгит, перлит, керамзит, цеолит, вермикулит и другие [1–6]. Причём данные материалы отличаются от традиционного дисперсного сырья повышенной пористостью, обусловленной развитой системой микропор поверхности.

Актуальным направлением исследований [3, 6] является применение минерального порошка из отходов производства дроблёного песка из керамзитового гравия, которые представляют собой высокодисперсные отсеvy дробления ячеистого строения. По мнению авторов [3], применение пористых минеральных порошков способствует повышению сдвигоустойчивости, тепло- и трещиностойкости асфальтобетонов, а также снижению стоимости их производства и частичному решению проблемы утилизации отходов промышленности.

Яркими представителями высокопористых материалов, активно изучаемыми в последние десятилетия, являются цеолиты [7]. Цеолиты представляют собой алюмосиликаты – производные от диоксида кремния SiO_2 , в котором часть атомов кремния замещена на алюминий. При этом каждый атом Si и Al окружён четырьмя атомами кислорода, образуя тетраэдры, соединяющиеся друг с другом вершинами и формирующие упорядоченную структуру с полостями и каналами. В целом алюмосиликатная матрица обладает высокой кристалличностью, поэтому все каналы цеолитов упорядочены и одинаковы по размерам, при этом они находятся

в наноразмерном диапазоне. Поры занимают значительную часть от общего объёма структуры, поэтому цеолиты активно используются в качестве адсорбентов. Всё это предопределяет интерес к цеолитам как к компонентам различных строительных материалов.

Вспученный перлит представляет собой искусственный материал, полученный путем вспучивания при обжиге подготовленных зерен из вулканических водосодержащих пород (перлит, обсидиан, витрофир и др.). Традиционно используемый в качестве теплоизоляции, в сухих легких строительных смесях обладает высокими звуко- и гидроизоляционными свойствами, биологически стоек. В работе [8] изучены физико-механические процессы взаимодействия органического вяжущего и пористых минеральных наполнителей при формировании структуры асфальтобетона. Показана возможность использования минеральных порошков из высокопористых отходов производства вспученного перлита для приготовления асфальтобетонных смесей, отличающихся повышенной теплостойкостью.

Материалы и методы

На основании вышеизложенного для исследования были приняты следующие пористые минеральные наполнители: керамзит, цеолитсодержащий туф, вспученный перлит и традиционно применяемый минеральный порошок из известняка.

С 2002 г. в Старом Осколе (Белгородская область), на территории Стойленский ГОК функционирует цех по производству вспученного перлита с годовой производительностью 140 тыс. м^3 . При этом в год образуется около 14 тыс. м^3 мелких фракций, которые можно использовать при производстве асфальтобетона. В данной работе использовалась дисперсная составляющая с размером фракций $<0,16$ мм. Структура зерен используемого перлита представлена на рисунке 1, а, из которого видно, что преобладающая форма зерен наполнителя представляет собой мельчайшие чешуйки. Этим объясняется высокая пористость данного сырья, а также малый удельный вес.

Пористый минеральный наполнитель из керамзита был отобран в цехе ОАО «ЖБК-1», г. Белгород. Он представляет собой пыль уноса электрофильтров, которая образуется при производстве керамзитового заполнителя, используемого для лёгких теплоизоляционных бетонов и стеновых изделий. Микрофотографии керамзита приведены на рисунке 1, б, из которых видна более плотная структура, чем у перлита. Для данного материала характерно неоднородное распределение частиц по размерам, а также слабовыраженная слоистая структура крупных частиц.

Рисунок 1. Морфология исследуемых минеральных порошков: *a* – вспученный перлит; *b* – керамзит; *c* – цеолитовый туф; *d* – известняк

Figure 1. Morphology of the investigated mineral powders: *a* – bellied perlite; *b* – expanded clay; *c* – zeolite tuff; *d* – limestone

Цеолитсодержащий туф представлен природным цеолитом Холинского месторождения (рисунок 1, *c*). Поверхность частиц данного минерального порошка представлена развитой структурой и в большинстве своём состоит из агрегатов крупных зёрен, поверхность которых «опушена» более мелкими частицами.

Традиционно применяемый минеральный порошок из известняка (рисунок 1, *d*) характеризуется наличием в его составе кальцита (CaCO_3). Для данного наполнителя характерна плотная поверхность минеральных частиц, а также отсутствие большого числа пустот и полостей между ними.

Физико-механические показатели применяемых в работе тонкодисперсных материалов оценивали согласно требованиям ГОСТ 52129–2003 (таблица 1).

Таблица 1.

Физико-механические показатели минеральных порошков

Table 1.

Physical and mechanical properties of mineral powders

Показатель Index	Минеральный порошок Mineral Powder					
	МП-1 MP-1		МП-2 MP-2			
	ГОСТ GOST	Известняк Limestone	ГОСТ GOST	Перлит Perlite	Керамзит Expanded clay	Цеолит Zeolite
Пористость, %, ≤ Porosity, %, ≤	35	28	40	39	39	55
Набухание асфальто вяжущего, %, ≤ Swelling asphalt binder, %, ≤	2,5	1,15	3,0	2,45	3,7	3,2
Водостойкость асфальто вяжущего, %, ≥ Water resistance of asphalt binder, %, ≥	–	0,91	0,7	0,85	0,83	0,92
Показатель битумоёмкости, г, ≤ Bitumen capacity index, g, ≤	–	68	80	78	96	109
Влажность, % по массе, ≤ Humidity, % by weight, ≤	1,0	0,40	2,5	0,48	2,56	6,15

Как видно, наибольшим показателем пористости характеризуется минеральный порошок из цеолита. Его значение на 37 % превышает величину, рекомендуемую ГОСТ. Пористость наполнителей из перлита и керамзита довольно высока, но соответствует требованиям. Повышенная пористость исследуемых наполнителей негативно влияет на показатель их битумоёмкости. Очевидно, это объясняется высокой сорбционной способностью сырья, а также развитой системой микропор, на счёт которых можно отнести увеличенный показатель влажности, особенно у цеолита.

Результаты и обсуждение

Важную роль в понимании механизма взаимодействия минеральных порошков с битумом играет изучение их поверхностных свойств как физических, так и химических [9]. Одной из ключевых характеристик наполнителей является величина удельной поверхности,

характеризующая степень дисперсности, а следовательно, способность структурировать битум и формировать асфальтовое вяжущее вещество. При этом стоит учитывать, что при работе с пористыми дисперсными материалами, значимость также приобретает величина «истинной», или активной, удельной поверхности. Величину удельной поверхности контролировали двумя методами. Сущность традиционного метода на приборе ПСХ-2 основывается на сравнении воздухопроницаемости слоя уплотнённого наполнителя фиксированной величины с воздухопроницаемостью эталонного наполнителя с известной удельной поверхностью. Суть метода БЭТ заключается в том, что вначале поверхность рассматриваемых материалов освобождается от адсорбированных на них веществ путём термостатирования. Затем при температуре 77 К на этих материалах адсорбируется азот или аргон таким образом, чтобы молекулы этих газов покрывали доступную для них поверхность

одним молекулярным слоем. Зная количество газа, адсорбированного на единицу массы контролируемых материалов, а также размеры молекул газа (точнее их кинетические диаметры), рассчитывают удельную поверхность по уравнению БЭТ (рисунок 2).

Рисунок 2. Удельная поверхность исследуемых минеральных порошков

Figure 2. Specific surface of the powders mineral studied

Различия в величине удельной поверхности для высокопористых наполнителей из цеолита и перлита, определённой на приборах ПСХ-2 и Сорби, обусловлены тем, что скорость фильтрации воздуха через материал с низкой пористостью существенно отличается при испытании высокопористого материала, а наличие в структуре пор открытого и закрытого типов, различия в диаметрах входных окон пор обуславливают резкое снижение точности определения величины удельной поверхности методами, основанными на газовой проницаемости. Тогда как прибор Сорби определяет фактически значение истинной удельной поверхности, используя четырёхточечный метод измерения. Таким образом, анализируя полученные результаты (рисунок 2), можно сделать вывод, что высокая пористость наполнителей из перлита и цеолита обусловлена высокоразвитой архитектурой пор с диаметрами входных окон в широком диапазоне.

Для оценки размерного распределения частиц рассматриваемых наполнителей с помощью лазерного анализатора частиц Microsizer 201 были получены кривые распределения, представленные на рисунке 3.

Рисунок 3. Распределение частиц исследуемых материалов

Figure 3. Particle size distribution of materials

Полученные данные по распределению частиц коррелируют с результатами по определению удельной поверхности наполнителей. Было установлено, что у наполнителей из перлита и цеолита преобладает содержание частиц в диапазоне от 2,5 до 10 мкм, в то время как у порошков из керамзита и известняка – в диапазоне 20–150 мкм. Повышенное содержание тонкодисперсных частиц у наполнителей из перлита и цеолита позволяет предположить высокий структурирующий эффект при наполнении ими битума и формировании качественного асфальто вяжущего.

В последнее время одним из наиболее информативных показателей поверхности минеральных наполнителей, характеризующим реакционную способность материала по отношению к вяжущим веществам, является наличие активных центров поверхности. Современный подход к химии поверхности твёрдого тела [10] позволил установить, что взаимодействие минеральных материалов с вяжущим в асфальтобетоне зависит не только от химического и минералогического состава сырья, как это считалось ранее, но и от состояния его поверхности, на которой имеются активные центры. Они обусловлены наличием гидроксильных групп и примесных центров, которые определяют активность подложки по отношению к вяжущему, влияют на процессы структурообразования и способны обеспечивать прочные контакты между вяжущим и поверхностью минеральных материалов.

О реакционной способности исследуемых наполнителей судили по количеству брэнстедовских кислотных центров адсорбции на поверхности, которое определялось по двум методикам – методом обменной ёмкости и методом красителей. По первой методике определение производили титриметрическим способом – по величине обменной ёмкости по отношению к ионам кальция (рисунок 4).

Рисунок 4. Содержание активных центров на поверхности минеральных порошков

Figure 4. The content of active centers on the surface of mineral powders

По результатам эксперимента было установлено, что увеличение содержания активных центров на поверхности минерального наполнителя прямо пропорционально его пористости. Данная величина, с точки зрения физики твёрдых тел, может быть выражена через изменение изобарно-изотермического потенциала. Величина контактирующей поверхности тела, выраженная при работе с тонкодисперсными материалами через величину их удельной поверхности, напрямую связана с архитектурой порового пространства наполнителя.

Стоит отметить динамику изменения содержания активных центров на поверхности пористых наполнителей при увеличении времени контакта сырья с раствором гидроксида кальция. Так, при исследовании известнякового минерального порошка время проведения эксперимента не влияло на исследуемую характеристику, а для наполнителей из цеолита и перлита этот показатель увеличился более чем на 10% через 2,5 ч от начала эксперимента.

Полученные данные позволяют говорить о высокой реакционной способности исследуемых наполнителей из перлита и цеолита при контакте с битумом. Так, например, содержание активных центров на поверхности цеолита и перлита на 53 и 49 % соответственно больше, чем на поверхности минерального порошка из известняка. Наполнитель из керамзита занимает промежуточное положение. Данная методика позволяет определять наличие на минеральной поверхности активных центров, расположенных в зоне кислот по Бренстеду (pKa 0–7).

Для более полной оценки реакционной способности наполнителей использовался метод красителей. Информативность метода состоит в том, что он позволяет оценить не только кислотность или основность поверхности, но и установить принадлежность к Льюисовскому (апротонному) или Бренстедовскому типу. Это даёт возможность проследить механизм влияния поверхности на взаимодействие с вяжущими, а также оценить уровень энергии поверхности, так как значения силы кислоты или основания имеют энергетическое содержание, поскольку отражают энергию химической связи, выражаясь через величины соответствующих констант диссоциаций (рисунок 5).

Анализ представленной информации (рисунок 4, 5) позволяет сделать вывод о численной разнице полученных значений, но стоит отметить наличие корреляции между ними.

При исследовании распределения центров адсорбции на поверхности минеральных материалов методом красителей сохраняется ранее установленная закономерность – с понижением пористости сырья уменьшается содержание активных центров.

Рисунок 5. Распределение центров адсорбции на поверхности: 1 – известняка; 2 – цеолита; 3 – керамзита

Figure 5. Distribution of adsorption centers on the surface: 1 – limestone; 2 – zeolite; 3 – expanded clay

Известно, что наибольший вклад во взаимодействие между минеральной поверхностью и битумом вносят кислотные и основные бренстедовские, а также кислотные льюисовские центры, которые способны адсорбировать практически все органические соединения, входящие в состав битума.

На бренстедовских кислотных центрах, представляющих собой поверхностные гидроксильные группы (pKa 0–7), могут образовываться водородные связи при участии атома водорода поверхности, проявляющего электронно-акцепторные свойства.

Входящие в состав асфальтенов и смол ароматические полициклические структуры, включающие гетероциклы с азотом и серой, имеющие π -связи и атомы с неподелёнными электронными парами, могут быть донорами электронов и взаимодействовать с электронно-акцепторными кислотными центрами Льюиса (pKa > 13). Комплексные соединения фенолов и азотистых оснований, содержащихся в составе смолистых веществ битума, также способны образовывать донорно-акцепторные связи с кислотными центрами Льюиса (pKa > 13).

Во взаимодействие с основными бренстедовскими центрами (pKa 7–13) будут способны вступать кислоты. Причём ароматические кислоты являются более сильными, чем алифатические, а наличие двух заместителей, например –COOH и –OH, у нафтяных и ароматических колец, наблюдающихся в составе битума, усиливает кислотность и адсорбционную способность этих соединений.

На основании обобщения полученных экспериментальных данных можно предположить, что цеолитовый наполнитель при взаимодействии с битумом будет проявлять высокую адсорбционную активность, что будет способствовать образованию прочных связей между битумной плёнкой и поверхностью частиц минерального наполнителя.

В данной работе адсорбционную активность исследуемых наполнителей изучали по динамике адсорбции-десорбции битума из бензольных растворов (рисунок 6).

Рисунок 6. Адсорбционная активность исследуемых минеральных порошков

Figure 6. Adsorption activity of mineral powders

Стоит пояснить отсутствие результатов по определению содержания центров адсорбции и общей адсорбционной активности для перлита. Принимая во внимание тот факт, что истинная и средняя плотности перлитового порошка составляют 1,48 и 0,9 г/см³ соответственно, данный порошок представляет собой нетехнологичный материал, который невозможно качественно подготовить для указанных испытаний. Высокоточные методы определения оптической плотности растворов, их равновесных концентраций и других показателей предполагают наличие растворов, отогнанных после взаимодействия с исследуемым материалом. После серии экспериментов, проведенных с перлитом, было установлено, что на имеющемся оборудовании невозможно получить растворы, полностью исключаящие наличие высоколетучих чешуек перлита. Следовательно, дальнейшая экспериментальная обработка таких растворов, как и получаемые результаты, не являются объективными и достоверными, что исключает их представление в данной работе.

В ходе эксперимента было установлено, что наполнитель из цеолита проявляет максимальную адсорбционную активность к компонентам битума при всех принятых для исследования концентрациях битумно-бензольного раствора, что является следствием двух факторов. Во-первых, цеолит обладает высокой удельной поверхностью, которая, в свою очередь, представляет собой развитую поровую структуру

упорядоченного строения. Во-вторых, содержание центров адсорбции на его поверхности, в особенности оснований и кислот Бренстеда, а также кислот Льюиса, отвечающих за активное взаимодействие с углеводородами битума, является максимальным в серии исследуемых наполнителей. Сочетание высокой пористости, развитой удельной поверхности и высокой химической активности поверхности обуславливает максимальные адсорбционные показатели минерального порошка из цеолита.

Например, величина адсорбции из битумного раствора концентрации 6 г/л для цеолита составила $5,8 \cdot 10^{-2}$ кг_{бит}/кг_{пор}, а из раствора концентрации 9 г/л цеолит адсорбировал уже $8,3 \cdot 10^{-2}$ кг_{бит}/кг_{пор}. Известняк адсорбировал при таких концентрациях $3,7 \cdot 10^{-2}$ и $4,0 \cdot 10^{-2}$ кг_{бит}/кг_{пор} соответственно, что в 1,6 и 2 раза ниже, чем для цеолита.

Исследование десорбции битума показало, что часть вяжущего отслаивается с поверхности. Это свидетельствует о том, что предельно насыщенный адсорбционный слой битума на поверхности наполнителей состоит из прочно химически и обратимо физически связанного битума. Так, после десорбции на поверхности цеолита осталось $6,25 \cdot 10^{-2}$ кг_{бит}/кг_{пор}, а на поверхности известняка и керамзита $2,48 \cdot 10^{-2}$ и $1,91 \cdot 10^{-2}$ кг_{бит}/кг_{пор} соответственно.

Заключение

Анализируя совокупность полученных результатов, было установлено, что наиболее перспективным сырьём для органоминеральных композитов являются цеолиты. Они обладают развитой удельной поверхностью, уникальной архитектурой пор, высокой структурирующей и адсорбционной способностью. Однако для полной замены традиционного минерального порошка в асфальтобетонах нужен тщательный подбор и контроль состава смеси. Наиболее перспективным вариантом использования цеолита, на наш взгляд, является использование его в качестве добавки в минеральный порошок. Уникальные свойства цеолитсодержащего сырья открывают широкие возможности для исследования различных вариантов его модификации.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Васильевская Г.В., Шевченко В.А., Киселёв В.П. Применение отходов промышленности ГМК «Норильский никель» в производстве дорожного асфальтобетона // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. № 3 (98). С. 130–134.
- 2 Васильевская Г.В., Назиров Д.Р. Применение отходов промышленности в качестве минерального порошка в асфальтобетоне // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2013. № 10 (81). С. 153–157.

3 Кузнецов Д.А., Агамян Б.С., Баранов Т.Р. Устойчивость к образованию трещин при старении асфальтобетона с пористыми минеральными порошками // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 6. С. 43–45.

4 Ковалев Н.С., Отарова Е.Н. Модифицированный минеральный порошок шламами гальванических производств // Модели и технологии природообустройства (региональный аспект). 2017. № 4. С. 67–72.

5 Шихалиев К.С., Абдуллаева М.Я. Исследование влияния минерального наполнителя на свойства дорожно-строительного битума // Пластические массы. 2017. № 9–10. С. 35–37.

6 Абдуллаева М.Я., Шихалиев К.С. Исследование влияния минерального наполнителя на свойства дорожно-строительного битума // Theoretical & Applied Science. 2016. № 4 (36). С. 106–110.

7 Zhou B., Chen Z. Experimental Study on Relation between Micro-structure and Macro-performance of Zeolite-based Humidity Control Building Coating // Procedia Engineering. 2015. V. 121. P. 1259–1265.

8 Sakshi K., Stuti K., Ashu R. Characterization and Study of Turkish Perlite // International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. 2013. V. 2. № 9. P. 4319–4326.

9 Копылов В.Е., Буренина О.Н., Павлова Е.А. Активация минеральных порошков, как способ улучшения физико-механических характеристик асфальтовых бетонов // Интернет-журнал Науковедение. 2017. Т. 9. № 5. С. 39.

10 Дрозд Г.Я., Бизирка И.И. Адсорбция и десорбция битума на поверхности минеральных материалов // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. 2016. № 1 (2). С. 202–204.

REFERENCES

1 Vasilovskaya G.V., Shevchenko V.A., Kiselev V.P. The use of industrial waste of MMC Norilsk Nickel in the production of road asphalt concrete. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Irkutsk State Technical University]. 2015. no. 3 (98). pp. 130–134. (in Russian).

2 Vasilovskaya G.V., Nazirov D.R. Application of industry waste as a mineral powder in asphalt concrete. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Irkutsk State Technical University]. 2013. no. 10 (81). pp. 153–157. (in Russian)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Марина А. Высоцкая к.т.н., доцент, кафедра автомобильных и железных дорог, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ул. Костюкова, 46, г. Белгород, 308012, Россия, goruri@rambler.ru

Светлана Ю. Шеховцова к.т.н., ст. преподаватель, кафедра строительных материалов и материаловедения, Московский государственный технологический университет, ш. Ярославское, 26, г. Москва, 129337, Россия, shehovtsovasyu@mgsu.ru

Дмитрий А. Кузнецов к.т.н., доцент, кафедра автомобильных и железных дорог, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ул. Костюкова, 46, г. Белгород, 308012, Россия, xidox@yandex.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Марина А. Высоцкая планирование и выполнение эксперимента
Светлана Ю. Шеховцова написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат
Дмитрий А. Кузнецов консультация в ходе исследования

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 08.12.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 28.01.2019

3 Kuznetsov D.A., Agamyan B.S., Baranov T.R. Resistance to the formation of cracks in the aging of asphalt concrete with porous mineral powders. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova* [Bulletin Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov]. 2013. no. 6. pp. 43–45. (in Russian).

4 Kovalev N.S., Otarova E.N. Modified mineral powder by slimes of galvanic production. *Modeli i tekhnologii prirodoobustroystva (regional'nyy aspekt)* [Models and technologies of environmental engineering (regional aspect)]. 2017. no. 4. pp. 67–72. (in Russian).

5 Shikhaliev K.S., Abdullaeva M.Ya. Investigation of the influence of mineral filler on the properties of road-building bitumen *Plasticheskiye massy* [Plastic masses]. 2017. no. 9–10. pp. 35–37. (in Russian).

6 Abdullaeva M.Ya., Shikhaliev K.S. Investigation of the influence of mineral filler on the properties of road-building bitumen. *Theoretical & Applied Science*. 2016. no. 4 (36). pp. 106–110. (in Russian).

7 Zhou B., Chen Z. Experimental Study on Relation between Micro-structure and Macro-performance of Zeolite-based Humidity Control Building Coating. *Procedia Engineering*. 2015. vol. 121. pp. 1259–1265.

8 Sakshi K., Stuti K., Ashu R. Characterization and Study of Turkish Perlite *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. 2013. vol. 2. no. 9. pp. 4319–4326.

9 Kopylov V.E., Burenina O.N., Pavlova E.A. Activation of mineral powders as a way to improve the physical and mechanical characteristics of asphalt concretes. *Internet-zhurnal Naukovedeniye* [Internet Journal of Science]. 2017. vol. 9. no. 5. pp. 39. (in Russian).

10 Drozd G. Ya., Biziroka I.I. Adsorption and desorption of bitumen on the surface of mineral materials. *Vestnik Luganskogo gosudarstvennogo universiteta imeni Vladimira Dalia* [Bulletin of Luhansk State University named after Vladimir Dal]. 2016. no. 1 (2). pp. 202–204. (in Russian).

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Marina A. Vysotskaya Cand. Sci. (Engin.), associate professor, automobile and railways department, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Kostukov str., 46, Belgorod, 308012, Russian, roruri@rambler.ru

Svetlana Yu. Shekhovtsova Cand. Sci. (Engin.), senior lecturer, building materials and materials science department, University of civil engineering, Yaroslavskoye h. 19, Moscow, 129337, Russian, shehovtsovasyu@mgsu.ru

Dmitry A. Kuznetsov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, automobile and railways department, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Kostukov str., 46, Belgorod, 308012, Russian, xidox@yandex.ru

CONTRIBUTION

Marina A. Vysotskaya planning and performing the experiment
Svetlana Yu. Shekhovtsova wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism
Dmitry A. Kuznetsov consultation during the study

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 12.8.2018

ACCEPTED 1.28.2019