

DOI: 10.34031/2618-7183-2018-1-4-44-50

*Траутвайн А.И. *, кандидат технических наук, доцент,
Ядыкина В.В., доктор технических наук, профессор,
Муленко Е.С.,*

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия

*Ответственный автор E-mail: trautvain@bk.ru

ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ОБРАЗЦОВ НА АКТИВИРОВАННЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ПОРОШКАХ РАЗЛИЧНЫХ СОСТАВОВ

Аннотация: в статье представлены результаты испытания асфальтобетонных образцов на основе активированного минерального порошка из кремнеземсодержащего сырья. Активированный наполнитель получали путем совместного помола отходов мокрой магнитной сепарации (ММС) железистых кварцитов Курской магнитной аномалии в шаровой планетарной мельнице в присутствии поверхностно-активных веществ (стеариновая кислота, адгезионная добавка Амдор-10) и битума. В первую очередь необходимо отметить, что применение активированного минерального порошка в составе асфальтобетонной смеси привело к увеличению плотности упаковки композита. Это отразилось не только на технологическом процессе, но и способствовало снижению пористости минерального остова. В работе было установлено, что применение ПАВ в процессе размола минерального порошка позволило повысить прочность асфальтобетонных образцов. Однако изменение показателей трещиностойкости и сдвигоустойчивости асфальтобетонных образцов, определенных по отношению соответствующих пределов прочности при сжатии, не произошло (таблица). Это связано с тем, что произошло пропорциональное изменение всех прочностных характеристик при различных температурах. Анализ физико-механических характеристик свойств асфальтобетона позволил сделать вывод о возможности применения активированного минерального порошка из отходов ММС в качестве составляющей асфальтобетонных смесей.

Ключевые слова: минеральный порошок, кремнеземсодержащее сырье, отходы мокрой магнитной сепарации, стеариновая кислота, адгезионная добавка Амдор-10, измельчение, удельная поверхность, асфальтобетонные образцы, физико-механические характеристики

Введение

В настоящее время развитие инфраструктуры региона и страны в целом требует поставок значительного количества природного минерального сырья. Новое строительство дорожной сети по-прежнему остается доминирующим направлением в большинстве развивающихся регионов страны, хотя техническое обслуживание автомобильных дорог становится одной из основных задач дорожной отрасли развитых областей. Использование некоторых отходов является перспективным способом смягчения сложившейся ситуации [1-3].

Одной из наиболее важных функций наполнителя в асфальтобетонной смеси является продление срока службы покрытия и повышение его устойчивости к проникновению воды. Кроме того, использование наполнителя в асфальтобетонной смеси повышает его прочность сдвигоустойчивость, снижает хрупкость. Важными физико-механическими характеристиками минеральных порошков являются форма и размера частиц, гранулометрический состав, истинная и средняя плотность, пористость, битумоемкость, а также химический состав наполнителя влияет на его взаимодействие с органическим вяжущим (адгезию). Так, в связи с уменьшением природных ресурсов в последние годы, увеличением дорожно-строительных работ, сокращением потребления энергии, а также необходимостью улучшения экологической обстановки, использование отходов, стали важным вопросом. Следовательно, необходимо исследовать возможность использования отходов в строительстве дорожных покрытий [4-6].

Известно [7-8], что асфальтобетон с активированным минеральным порошком обладает повышенной прочностью, плотностью, водо- и морозостойкостью. Активированный минеральный порошок способствует сокращению сроков уплотнения и формирования покрытия под движением автомобилей. Активация способна повысить устойчивость асфальтобетона против образования трещин при низких температурах. Такие асфальтобетоны менее водопроницаемы или водонепроницаемы [9-10].

Эффективность применения активированного минерального порошка, с точки зрения экономики, связана с возможностью уменьшения содержания битума на 10-20% по сравнению с асфальтобетоном на неактивированном минеральном порошке [11].

Материалы и методы

Определение гранулометрического состава отходов ММС осуществляли по ГОСТ 32719-2014 «дороги автомобильные общего пользования. Порошок минеральный. Метод определения зернового состава».

Химический состав отходов ММС, из которого был получен минеральный порошок, определен рентгенофлуоресцентным анализом, минеральный состав – рентгенофазовым анализом. Анализ образцов карбонатного сырья для производства минеральных порошков выполнен на спектрометре серии ARL 9900 WorkStation со встроенной системой дифракции («Thermo Fisher Scientific»).

Изучение физико-механических характеристик асфальтобетона проводили в соответствии с ГОСТ 12801 – 98 «Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний» с последующим сопоставлением полученных результатов с нормативными требованиями ГОСТ 9128 – 2013.

Результаты и обсуждения

Минеральный порошок представляет собой наполнитель, изменяющий структуру битума с образованием асфальтовяжущего, которое омоналичивает зерна щебня и песка [1]. Для получения минерального порошка, чаще всего используют известняки, доломиты и других карбонатных пород. При этом важными характеристиками качества минерального порошка являются удельная поверхность и коэффициент гидрофильности. Тонкость помола должна быть такой, чтобы измельченный порошок полностью проходил через сито с отверстиями 1,25 мм, а количество частиц мельче 0,071 мм составляло не менее 70% по массе. Коэффициент гидрофильности должен быть не более единицы.

Расширить номенклатуру сырья, применяемого в качестве наполнителя для асфальтобетона, позволит использование нетрадиционного минерального материала, в том числе кремнеземсодержащего. Поэтому в работе в качестве минерального сырья для получения минерального порошка использовали отходы мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов следующего гранулометрического состава (полные остатки на сите, %):

- 1,25 мм – 0,1%;
- 0,63 мм – 3,4;
- 0,315 мм – 21,6%;
- 0,14 мм – 65,3%;
- менее 0,14 мм – 99,9%.

Исследования отходов ММС железистых кварцитов Лебединского ГОКа показали, что они сложены в основном кварцем. Минеральный состав хвостов ММС следующий: кварц 60-70%, карбонаты 6-10%, силикаты 8-12%, гематит 6-10%, магнетит 2-6%.

Частички отходов ММС представлены остроугольными обломками кварца неправильной формы с раковистым изломом, в незначительном количестве присутствуют удлиненные в одном направлении зерна амфиболов, изометричные с землистым изломом зерна магнетита. Детальные исследования кварца отходов ММС позволили установить наличие нескольких генераций кварца, беспорядочно распределенных по всей массе отходов [12].

При получении активированного минерального порошка активирующую смесь, состоящую из ПАВ и битума, вводили в шаровую планетарную мельницу одновременно с отходами ММС. Совместный помол осуществляли в течении 30 минут при скорости 250 оборотов в минуту. В процессе размол минерального порошка до удельной поверхности равной 350 м²/кг, частицы покрывались слоем битума. Равномерному распределению малых количеств битума способствовала высокая активность новых поверхностей и большие механические усилия, действующие на измельчаемый материал [11].

Активированный минеральный порошок значительно улучшает технологию приготовления образцов асфальтобетона в лабораторных условиях: температура приготовления смеси снизилась до 135°С, уменьшилась продолжительность перемешивания всех компонентов. Это обусловлено тем, что поверхностно-активная добавка способствует более равномерному распределению битума по поверхности минеральных зерен тонкодисперсного порошка в виде тонких слоев.

Полученный активированный минеральный порошок был гидрофобным, так как практически не смачивался водой. Данное свойство имеет большое значение в условиях современной технологии приготовления асфальтобетонных смесей, согласно которой минеральный порошок вводят в смеситель асфальтобетонных машин в холодном виде [7].

Задачей нашего научного исследования являлась проверка физико-механических свойств асфальтобетонной смеси приготовленной с применением минерального порошка активированного различными веще-

ствами. В ходе исследовательской работы было приготовлено 4 партии стандартных асфальтобетонных образцов типа Б (по 12 образцов в каждой) на основе следующих минеральных порошках (МП):

- 1 партия – МП из отходов ММС;
- 2 партия – МП из отходов ММС с добавлением 1% стеариновой кислоты от массы минерального порошка;
- 3 партия – МП из отходов ММС с добавлением 1% стеариновой кислоты и 2% битума;
- 4 партия – МП из отходов ММС с добавлением 1% стеариновой кислоты и 1% адгезионной добавки Амдор-10.

Все заформованные образцы были испытаны согласно ГОСТ 12801-84. Полученные данные представлены в таблице.

На рис. 1-4 представлены графики изменения физико-механических параметров асфальтобетонных образцов на активированных минеральных порошках (партии 2-4) по отношению к неактивированному (партия 1).

Таблица 1

Физико-механические параметры асфальтобетонных образцов с различными типами минерального порошка [13]

Table 1

Physical and mechanical parameters of asphalt concrete samples with various types of mineral powder [13]

Характеристики	Требования по ГОСТ 9128-2013	МП из отходов ММС			
		Партия 1	Партия 2	Партия 3	Партия 4
Средняя плотность, кг/м ³	2315	2396	2423	2474	2416
Пористость минерального остова, % по объему	14 – 19	18,6	17,2	16,0	17,2
Водонасыщение, %	1,5 – 4,0	3,0	2,4	1,9	2,2
Набухание, %	0,60	0,7	0,52	0,45	0,40
Прочность при сжатии, МПа					
при +50°С, не менее	1,2	1,5	2,3	2,7	2,1
при + 20°С, не менее	2,2	2,7	4,7	5,4	4,1
при 0°С, не более	13,0	6,4	11,3	11,88	10,2
Водостойкость, не менее	0,80	0,80	1,0	0,90	1,05
Теплостойкость, R ₅₀ /R ₀ , не более	0,24	0,23	0,20	0,23	0,21
Трещиностойкость, R ₂₀ /R ₀	-	0,42	0,42	0,46	0,4



Рис. 1. Изменение пористости минерального состава смеси в зависимости от применяемого минерального порошка
Fig. 1. Change in porosity of the mineral composition of the mixture depending on the mineral powder used

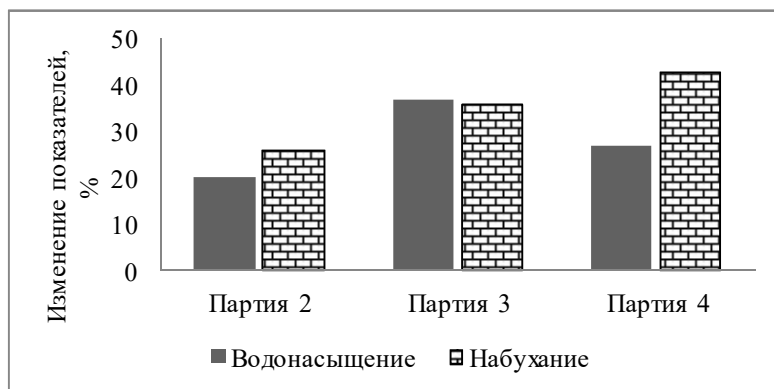


Рис. 2. Изменение показателей водонасыщения и набухания асфальтобетонных образцов в зависимости от применяемого минерального порошка
Fig. 2. Change in water saturation and swelling of asphalt concrete samples depending on the mineral powder used

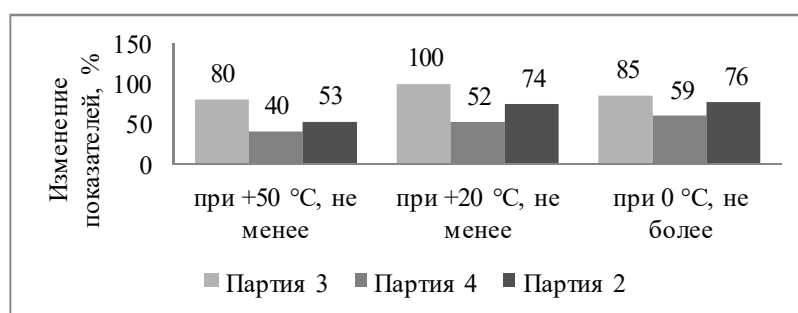


Рис. 3. Изменение прочности при сжатии асфальтобетонных образцов в зависимости от применяемого минерального порошка
Fig. 3. Change in compressive strength of asphalt concrete samples depending on the mineral powder used

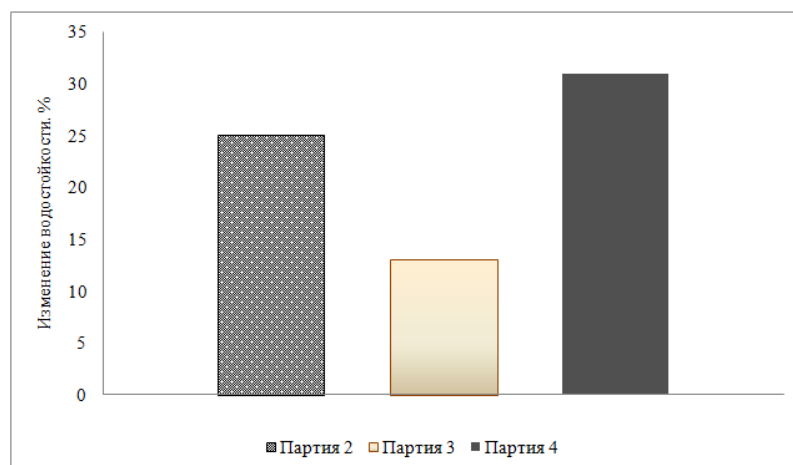


Рис. 4. Изменение водостойкости асфальтобетонных образцов в зависимости от применяемого минерального порошка
Fig. 4. Change in water resistance of asphalt concrete samples depending on the mineral powder used

В первую очередь необходимо отметить, что применение активированного минерального порошка в составе асфальтобетонной смеси (2, 3 и 4 партии) привело к увеличению плотности упаковки композита. Это отразилось не только на технологическом процессе, но и способствовало снижению пористости минерального остова на 8% у второй партии, 14% – 3 партии и 8% – 4 партии.

Из представленных результатов видно, что водонасыщение асфальтобетонных образцов первой партии составляет 3%, 2 партии – 2,4%; 3 партии – 1,9%; 4 партии – 2,2%. При этом набухание асфальтобетона на активированных порошках по отношению к первой партии снизилось на 26, 36 и 43% соответственно.

Недостаточная водостойкость асфальтобетонной смеси может привести к проникновению воды к поверхности минерального материала с последующим отслоением пленки битума, а в зимний период в результате процессов «замерзание – оттаивание» – разрушение асфальтобетона [1]. Рост данных показателей связан с тем, что полученный минеральный порошок был гидрофобным и содействовал отталкиванию воды. На повышение данных показателей повлияло применение катиоактивной добавки Амдор – 10. На показатели водонасыщения и набухания влияет содержание стеариновой кислоты.

В связи с тем, что активация отразилась на водонасыщении и набухании, то это привело к получению асфальтобетона с высокими показателями водостойкости. В частности, добавление 1% стеариновой кислоты к минеральному сырью в процессе помола повысило водостойкость 2 партии на 12%, а применение 1% стеариновой кислоты и 2% битума – на 13%. Использование в качестве активаторов 1% стеариновой кислоты и 1% адгезионной добавки Амдор-10 повлияло на повышение показателя водостойкости на 30%. Значительное изменение показателя в последнем случае связано с повышением адгезионной способности битума по отношению к тонкодисперсному наполнителю в результате введения добавки Амдор-10.

Традиционно считается, что повысить физико-механические характеристики асфальтобетон возможно за счет применения в составе смеси минеральных компонентов, обладающих высокими прочностными характеристиками. Однако увеличения адгезионной прочности наполнителя с органическим вяжущим асфальтобетона также может привести к увеличению прочности и долговечности асфальтобетонных покрытий [14-16].

Выводы

В работе было установлено, что применение ПАВ в процессе размола минерального порошка позволило повысить прочность асфальтобетонных образцов. В частности:

- при +50°C увеличение предела прочности при сжатии составило 53% (2 партия); 80% (3 партия) и 40% (4 партия). Этот показатель определяет поведение покрытия при пластических деформациях, способность показывать высокую сдвигоустойчивость, устойчивость к образованию колеи;

- при +20°C для 2 партии прочность изменилась на 74%, 4 партии – 52%; в 3 партии произошло увеличение в 2 раза;

- при 0°C для 2 партия – 76%; 3 партия – 85%; 4 партия – 59%. При понижении температуры битум становится более хрупким и не достаточно эффективно работает при растяжении на изгиб, данный фактор может вызвать образование температурных трещин в покрытии, что в дальнейшем приведет к образованию выбоин. Исходя из представленных данных, можно сделать вывод, что исправить этот дефект можно путем применения активированного минерального порошка из отходов ММС стеариновой кислотой и битумом в процессе помола.

Однако изменение показателей трещиностойкости и сдвигоустойчивости асфальтобетонных образцов, определенных по отношению соответствующих пределов прочности при сжатии, не произошло (таблица). Это связано с тем, что произошло пропорциональное изменение всех прочностных характеристик при различных температурах.

Таким образом, применение стеариновой кислоты и битума в качестве активаторов при получении минерального порошка из кремнеземсодержащего сырья приводит к наибольшему повышению физико-механических характеристик асфальтобетонной смеси, что может позволить расширить сырьевую базу для производства наполнителя. Полученная асфальтобетонная смесь соответствует стандартам ГОСТ 9128-2013 и может быть использована при устройстве асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог.

Благодарность

Работа выполнена в рамках программы развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова

Литература

1. Орехова Т.Н., Прокопенко В.С. Тонкодисперсные порошки для асфальтобетона // Научный альманах. 2016. №1-1. С. 465 – 467.
2. Корнеев А.Д. и др. Оптимизация строительно-технических свойств асфальтобетонов с применением отходов металлургического производства // Фундаментальные исследования. 2015. Т. 8. №2. С. 1620 – 1625.
3. Гончарова М.А., Ткачева И.А. Практический опыт применения щебеночно-мастичного асфальтобетона с использованием активированного минерального порошка // Строительные материалы. 2016. №10. С. 84 – 84.

4. Бажуков Н.М., Щепетева Л.С. Физико-механические свойства кубовидного минерального порошка и особенности его применения в составе асфальтобетонной смеси // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2016. №4. С. 15 – 25.
5. Копылов В.Е., Буренина О.Н. Изменение физико-механических свойств асфальтобетонных покрытий на опытных участках автомобильных дорог в процессе эксплуатации // Bulletin of the East Siberian State University of Technology/Vestnik VSGTU. 2017. Т. 64. №1. С. 33 – 38.
6. Копылов В.Е., Буренина О.Н., Саввинова М.Е. Минеральные порошки из местного сырья для производства асфальтобетонов // Приволжский научный вестник. 2015. №12. С. 52 – 58.
7. Липилин А.Б., Коренюгина Н.В., Векслер М.В. Мельницы могут работать эффективнее // Полимерные материалы. 2013. №10. С. 14.
8. 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 (42).
9. Копылов В. Е., Буренина О. Н., Павлова Е. А. Активаторы поверхности минеральных порошков используемых в асфальтовых бетонах // Технические науки: современный взгляд на изучение актуальных проблем. 2017. С. 34 – 36.
10. Kuznetsov D. A., Lukash E. A. Activated mineral powders for asphalt concrete mixture // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2018. V. 327. №3. P. 032032.
11. Yadykina V.V., Gridchin A.M., Trautvain A.I. The Influence of Active Adsorption Centres of the Surface Dispersed Material on the Interaction with Bitumen // Middle East Journal of Scientific Research. 2013. Volume 18. №10. P. 1505 – 1509.
12. Шейченко М.С., Карацупа С.В., Яковлев Е.А. и др. Обогащение как способ повышения эффективности использования техногенного сырья в качестве компонента композиционных вяжущих // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2014. №1. С. 16 – 21.
13. Траутвайн А.И., Ядыкина В.В. Асфальтобетон с использованием механоактивированных минеральных порошков на основе кремнеземсодержащего сырья. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2013. 182 с.
14. Алексеенко В.В., Салтанова Ю.В. Использование модифицированных минеральных порошков при производстве горячего асфальтобетона // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2016. Т. 2. №2.
15. Шепелев И.И. и др. Изменение степени гидрофобности минерального порошка при активации его различными реагентами-гидрофобизаторами // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. №2. С. 200 – 207.
16. Траутвайн А.И., Ядыкина В.В., Лебедев М.С., Акимов А.Е. Предварительные исследования конверсионного мела в качестве минерального порошка для асфальтобетонных смесей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №6. С. 21 – 28.

References

1. Orekhova T.N., Prokopenko V.S. Tonkodispersnye poroshki dlya asfal'tobetona. Nauchnyj al'manah. 2016. 1-1. P. 465 – 467. (rus.)
2. Korneev A.D. i dr. Optimizaciya stroitel'no-tekhnicheskikh svojstv asfal'tobetonov s primeneniem othodov metallurgicheskogo proizvodstva. Fundamental'nye issledovaniya. 2015. 8 (2). P. 1620 – 1625. (rus.)
3. Goncharova M.A., Tkacheva I.A. Prakticheskij opyt primeneniya shchebenochno-mastichnogo asfal'tobetona s ispol'zovaniem aktivirovannogo mineral'nogo poroshka. Stroitel'nye materialy. 2016. 10. P. 84 – 84. (rus.)
4. Bazhukov N.M., SHCHepeteva L.S. Fiziko-mekhanicheskie svojstva kubovidnogo mineral'nogo poroshka i osobennosti ego primeneniya v sostave asfal'tobetonnoj smesi. Transport. Transportnye sooruzheniya. EHkologiya. 2016. 4. P. 15 – 25. (rus.)
5. Kopylov V.E., Burenina O.N. Izmenenie fiziko-mekhanicheskikh svojstv asfal'tobetonnyh pokrytij na opytnyh uchastkah avtomobil'nyh dorog v processe ehkspluatcii. Bulletin of the East Siberian State University of Technology/Vestnik VSGTU. 2017. 64 (1). P. 33 – 38. (rus.)
6. Kopylov V.E., Burenina O.N., Savvinova M.E. Mineral'nye poroshki iz mestnogo syr'ya dlya proizvodstva asfal'tobetonov. Privolzhskij nauchnyj vestnik. 2015. 12. P. 52 – 58. (rus.)
7. Lipilin A.B., Korenyugina N.V., Veksler M.V. Mel'nicy mogut rabotat' ehffektivnee. Polimernye materialy. 2013. 10. P. 14. (rus.)
8. Kopylov V. E., Burenina O. N., Pavlova E. A. Aktivaciya mineral'nyh poroshkov, kak sposob uluchsheniya fiziko-mekhanicheskikh harakteristik asfal'tovyh betonov. Internet-zhurnal Nauko-vedenie. 2017. 9 (5). (rus.)

9. Kopylov V. E., Burenina O. N., Pavlova E. A. Aktivatory poverhnosti mineral'nyh poroshkov ispol'zuemyh v asfal'tovyh betonah. Tekhnicheskie nauki: sovremennyy vzglyad na izuchenie aktual'nyh problem. 2017. P. 34 – 36. (rus.)
10. Kuznetsov D. A., Lukash E. A. Activated mineral powders for asphalt concrete mixture. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2018. 327 (3). P. 032032.
11. Yadykina V.V., Gridchin A.M., Trautvain A.I. The Influence of Active Adsorption Centres of the Surface Dispersed Material on the Interaction with Bitumen. Middle East Journal of Scientific Research. 2013. 18 (10). P. 1505 – 1509.
12. SHejchenko M.S., Karacupa S.V., YAKovlev E.A. i dr. Obogashchenie kak sposob povysheniya ehffektivnosti ispol'zovaniya tekhnogenogo syr'ya v kachestve komponenta kompozitsionnyh vyazhushchih. Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. SHuhova. 2014. 1. P. 16 – 21. (rus.)
13. Trautvain A.I., YAdykina V.V. Asfal'tobeton s ispol'zovaniem mekhanoaktivirovan-nyh mineral'nyh poroshkov na osnove kremnezemsoderzha-shchego syr'ya. Belgorod: Izd-vo BGTU im. V.G. SHuhova, 2013. 182 p. (rus.)
14. Alekseenko V.V., Saltanova YU.V. Ispol'zovanie modificirovannyh mineral'nyh poroshkov pri proizvodstve goryachego asfal'tobetona. Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii. 2016. 2 (2). (rus.)
15. SHepelev I.I. i dr. Izmenenie stepeni gidrofobnosti mineral'nogo poroshka pri aktivacii ego razlichnymi reagentami-gidrofobizatorami. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo ar-hitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2016. №2. P. 200 – 207. (rus.)
16. Trautvain A.I., YAdykina V.V., Lebedev M.S., Akimov A.E. Predvaritel'nye issledovaniya konversionnogo mela v kachestve mineral'nogo poroshka dlya asfal'tobetonnyh smesey. Vestnik BGTU im. V.G. SHuhova. 2018. №6. P. 21 – 28. (rus.)

*Trautvain A.I., Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.), Associate Professor,
Yadykina V.V., Doctor of Engineering Sciences (Advanced Doctor), Professor,
Mulenko E.S., Student,
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Russia*

STUDY OF PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF ASPHALT-CONCRETE SPECIMENS ON ACTIVATED MINERAL POWDERS OF VARIOUS COMPOSITIONS

Abstract: the article presents the results of testing asphalt samples based on activated mineral powder from silica-containing raw materials. Activated filler was obtained by joint grinding of waste wet magnetic separation (WMS) of ferruginous quartzites of the Kursk Magnetic Anomaly in a spherical planetary mill in the presence of surfactants (stearic acid, adhesive additive Amdor-10) and bitumen. First of all, it should be noted that the use of activated mineral powder in the composition of asphalt concrete mixture led to an increase in the packing density of the composite. This was reflected not only in the technological process, but also contributed to the decrease in the porosity of the mineral core. It was found that the use of surfactants in the process of grinding mineral powder made it possible to increase the strength of asphalt concrete samples. However, the change in the crack resistance and shear resistance of asphalt concrete specimens, determined from the ratio of the corresponding compressive strengths, did not occur (table). This is due to the fact that there has been a proportional change in all the strength characteristics at different temperatures. Analysis of the physical-mechanical characteristics of the properties of asphalt concrete led to the conclusion that it was possible to use activated mineral powder from waste WMS as a component of asphalt concrete mixtures.

Keywords: mineral powder, silica-containing raw materials, waste of wet magnetic separation, stearic acid, adhesive additive Amdor-10, grinding, specific surface, asphalt-concrete samples, physical and mechanical characteristics

Для цитирования: Траутвайн А.И., Ядыкина В.В., Муленко Е.С. Изучение физико-механических свойств асфальтобетонных образцов на активированных минеральных порошках различных составов // Строительные материалы и изделия. 2018. Том 1. №4. С. 44 – 50. DOI: 10.34031/2618-7183-2018-1-4-44-50

For citation: Trautvain A.I., Yadykina V.V., Mulenko E.S. Study of physical-mechanical properties of asphalt-concrete specimens on activated mineral powders of various compositions. Construction Materials and Products. 2018. 1 (4). P. 44 – 50. DOI: 10.34031/2618-7183-2018-1-4-44-50

Поступила в редакцию 7 апреля 2018 г.
Принята в доработанном виде 15 августа 2018 г.
Одобрена для публикации 22 октября 2018 г.

Received: April 7, 2018.
Revised: August 15, 2018.
Accepted: October 22, 2018.