

DOI:10.34031/2618-7183-2020-3-4-24-30

*Ядыкина В.В., доктор технических наук, профессор,  
Гридин А.М., доктор технических наук, профессор,  
Кузнецова Е.В. \*, аспирант,  
Лебедев М.С., кандидат технических наук,  
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия*  
\*Ответственный автор E-mail: kuznecova.k@inbox.ru

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МИНЕРАЛЬНОГО ПОРОШКА ИЗ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ ЗА СЧЕТ ЕГО ГИДРОФОБИЗАЦИИ**

**Аннотация:** перспективным направлением в решении задачи получения качественного асфальтобетона является применение минеральных наполнителей, в том числе из отходов промышленности. В статье рассмотрено использование шлака ОЭМК в качестве минерального порошка в составе асфальтобетонной смеси. Изучено влияние гидрофобизации минерального порошка Препаратом ГФ на влагопоглощение и его структурирующую способность по изменению предельного напряжения сдвига от содержания минерального порошка до и после гидрофобизации. Установлено, что обработка наполнителя обеспечивает необходимую гидрофобность минерального материала, снижает битумоемкость, водонасыщение, пористость асфальтовяжущего, способствует увеличению его прочности и водостойкости. Результаты исследований основных характеристик асфальтобетона на примере смеси типа Г III марки показали, что в результате гидрофобизации значительно увеличивается прочность, водостойкость, снижается водонасыщение, набухание композита.

**Ключевые слова:** асфальтобетон, минеральный порошок, шлак ОЭМК, гидрофобизация, физико-химические характеристики

### **Введение**

Повышение качества исходных материалов, входящих в состав асфальтобетона, является одним из основных критериев эффективности дорожного строительства [1-2].

Важной составной частью асфальтобетонных смесей является минеральный порошок, который представляет собой продукт тонкого помола известняков, доломитов, металлургических шлаков и другого техногенного сырья.

По объему производства каменных материалов для дорожного и аэродромного строительства шлаки занимают второе место после горных пород. На территории Белгородской области находится Оскольский электрометаллургический комбинат (ОЭМК), на котором реализуется процесс производства стали прямым восстановлением металлизированных брикетов в электропечах. На ОЭМК выплавляется 25-30% от общего объема производимой в России стали. Основная масса отходов сталеплавильного производства образуется в виде шлаков, из них утилизируется менее 50%, остальные попадают в отвалы.

Шлак ОЭМК относится к основным саморассыпающимся шлакам. Благодаря саморассыпанию в электросталеплавильном шлаке образуется значительное количество порошкообразной фракции, имеющей высокую степень дисперсности. Шлак охлаждается медленно, поэтому большая его часть кристаллизуется в минералы. Традиционно шлаки используются в промышленности строительных материалов в качестве компонентов бетонов, оснований дорог и составляющих асфальтобетонных смесей [3-7].

В ООО «Стройкомплект» с 2004 года из шлака ОЭМК производится минеральный порошок для асфальтобетонных смесей в объеме 3.5-4.0 тыс. тонн в год, который используется на территории Белгородской, Курской, Воронежской областей. Минеральный порошок и асфальтобетонные смеси с его использованием, в основном, удовлетворяет требованиям нормативных документов.

Для повышения качества асфальтобетона в России и за рубежом применяют разные способы обработки минеральных порошков. Особый интерес представляет применение активированных минеральных порошков [8-13].

В соответствии с ГОСТ-52129-2003 [14] активированные минеральные порошки должны быть гидрофобными.

Исследованиями [14-20] подтверждено, что гидрофобизированные наполнители улучшают структуру, эксплуатационные и технологические свойства различных композитов на минеральных и органических вяжущих.

Для гидрофобизации минерального порошка используют различные вещества [17-19]. Одним из них является Препарат ГФ, производимый ООО «Селена» [21].

Согласно данным, предоставленным производителями Препарата-ГФ [21], его использование обеспечивает получение асфальтобетонов с повышенной плотностью, прочностью и трещиностойкостью, а также позволяет снизить расход битума в составе асфальтобетонной смеси на 10%.

Целью данного исследования явилось изучение влияния гидрофобизатора Препарат ГФ-1 на характеристики минерального порошка из шлака ОЭМК и на изменение физико-механических характеристик асфальто вяжущего и асфальтобетона.

### Методы и материалы

Для приготовления гидрофобизированного наполнителя использовали предварительно высушенный минеральный порошок из шлака ОЭМК. Порошок разогрели до температуры 150°C и в горячий порошок вводили разогретую добавку, обработка производилась в планетарной мельнице. Время обработки образцов минерального порошка составляло 15, 30 и 45 минут, количество гидрофобизатора – 0,4%.

Влияние гидрофобизации минерального порошка на его характеристики исследовали по изменению влагопоглощения, битумоемкости, реологических показателей.

Суть метода определения влагопоглощения заключалась в том, что гидрофобизированный и исходный шлак ОЭМК отвешивали в бюксы и помещали в эксикатор, заполненный дистиллированной водой на 50 мм ниже края решетки. Взвешивание проводили каждые сутки до полного насыщения и рассчитывали влагопоглощение.

Для определения структурообразующей способности исследуемого шлака ОЭМК проводилось определение реологических показателей битума с минеральным порошком методом конической пластометрии. Структурообразующая концентрация характеризовалась предельным напряжением сдвига, при котором его зависимость от содержания порошка имела перегиб на кривой.

Для определения физико-механических характеристик асфальтобетона были изготовлены и испытаны по ГОСТ 12801-98 образцы из асфальтобетонной смеси типа Г непрерывного гранулометрического состава, подобранного в соответствии с ГОСТ 9128-2013.

### Результаты и обсуждения

Для исследований использовался минеральный порошок, удовлетворяющий требованиям ГОСТ. Его гранулометрический состав представлен в табл. 1.

Таблица 1

#### Гранулометрический состав минерального порошка

Table 1

Granulometric composition of mineral powder		
Проходы через сито с отверстиями в мм, %		
0,315	0,14	0,071
97,5	91,7	76

Изучено влияние времени обработки на влагопоглощение минерального порошка.

На рис. 1 представлен график изменения влагопоглощения минерального порошка от времени помола – исходного, 15, 30 и 45 минут.

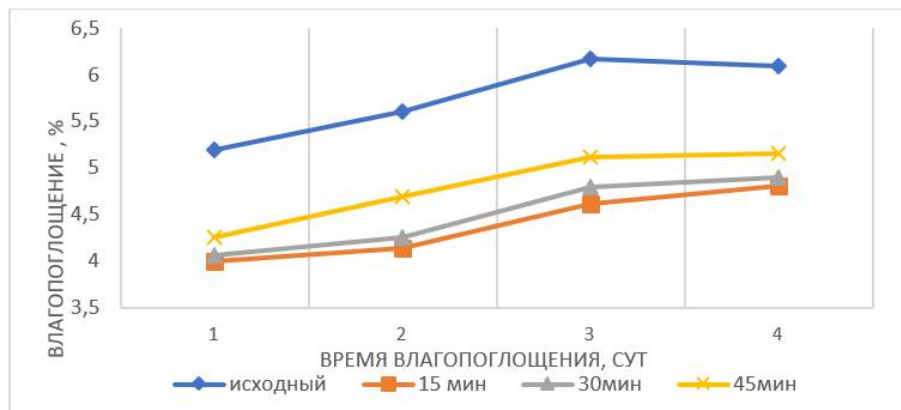


Рис. 1. Зависимость влагопоглощения минерального порошка из шлака ОЭМК от времени помола и насыщения водой  
Fig. 1. Dependence of moisture absorption of mineral powder from OEMK slag on the time of grinding and water saturation

Анализ графика позволяет заключить, что обработка минерального наполнителя гидрофобизатором уменьшает его влагопоглощение. Так, влагопоглощение необработанного минерального порошка из шлака ОЭМК через 4 суток составило 6,1%, образцов, обработанных Препаратом – ГФ в течение 15 минут – 4,81; 30 минут – 4,91, 45 минут – 5,16%.

Рациональным временем обработки можно считать 15 мин. Повышение влагопоглощения при увеличении времени обработки связано, по-видимому, с агрегацией частиц минерального порошка.

Структурирующая способность является одним из главных показателей качества минерального порошка, на основе которой может быть принято решение о целесообразности его использования при приготовлении асфальтобетонных смесей.

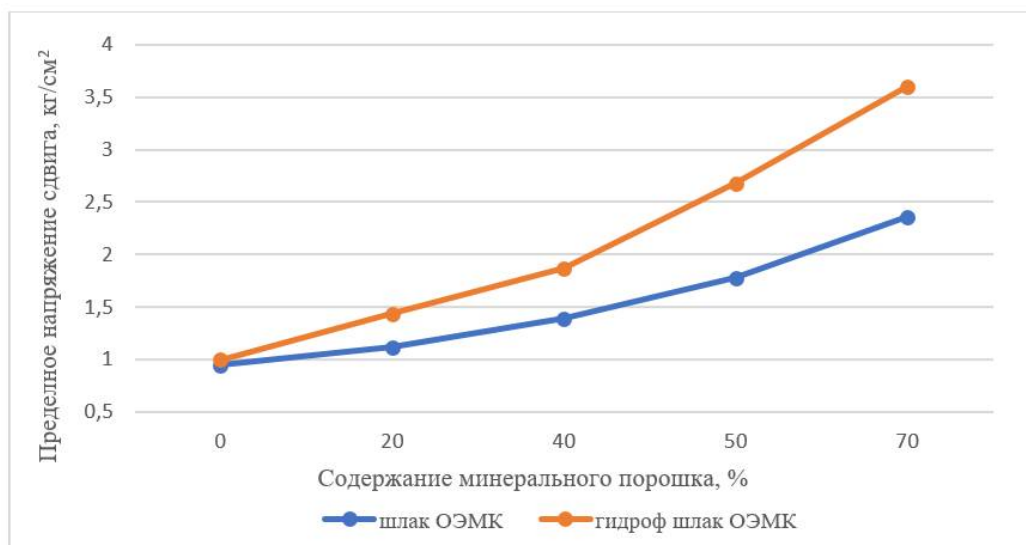


Рис. 2. Зависимость предельного напряжения сдвига от содержания минерального порошка в асфальтовяжущем  
Fig. 2. Dependence of the ultimate shear stress on the content of mineral powder in the asphalt binder

Результаты, представленные на рис. 2, свидетельствуют о том, что наиболее активным минеральным порошком является гидрофобизированный шлак ОЭМК, т.к более резкое увеличение предельного напряжения сдвига происходит при концентрации гидрофобного шлака в битуме в количестве 40%, а для исходного шлака ОЭМК эта концентрация составила 50%. При содержании шлака ОЭМК в битуме в количестве 70%, предельное напряжение сдвига составило на исходном шлаке 2,36 кгс/см<sup>2</sup>, а на гидрофобном 3,6.кгс/см<sup>2</sup>.

Таким образом, обработка минерального порошка из шлака ОЭМК Препаратом ГФ-1 приводит к его гидрофобизации и увеличению структурирующей способности по сравнению с исходным минеральным порошком.

Полученные результаты дают основание предполагать, что его использование будет способствовать улучшению взаимодействия в зоне контакта «минеральный наполнитель-битум».

Асфальтовяжущее вещество в составе асфальтобетона оказывает значительное влияние на его физико-механические характеристики.

При подборе количества битума в составе асфальтовяжущего установлено, что для исходного шлака ОЭМК оптимальное количество вяжущего составило 21%, для гидрофобизированного – 18%.

Физико-механические свойства образцов асфальтовяжущего определялись в соответствии с ГОСТ 12801-84.

Свойства минерального порошка представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Свойства минерального порошка**

Table 2

**Properties of mineral powder**

Наименование показателя	Требования ГОСТ Р 52129-2003	Исходный	Гидрофобный
Пористость, %	не более 40	32	26,4
Набухание образцов из смеси порошка с битумом, %	не более 3,0	0,99	0,95
Водостойкость образцов из смеси порошка с битумом, %	Не менее 0,7	0,85	0,96
Показатель битумоемкости, г	не более 80.	72	68
Прочность, МПа	Не норм.	2,5	2,9
Водонасыщение, %	Не норм.	2,95	2,33

Анализ представленных результатов позволяет заключить, что обработка минерального порошка из шлака ОЭМК Препаратом-ГФ-1 в количестве 0,4 % обеспечивает необходимую гидрофобность минерального материала, снижает битумоемкость, водонасыщение, пористость асфальтовяжущего, способствует увеличению его прочности и водостойкости.

Эффективность применения гидрофобизированного минерального порошка оценивалась по его влиянию на комплекс показателей свойств асфальтобетона на примере асфальтобетонной смеси типа Г, марки Ш.

В состав асфальтобетонной смеси входили:

- отсев кварцитопесчаника Лебединского ГОКа фр-0-5мм – 92%
- минеральный порошок – шлак ОЭМК – 8%
- битум БНД 60/90 – 6,50% (сверх минеральной части)

Ранее было установлено, что оптимальное количество битума для состава с гидрофобизированным минеральным порошком на 0.56% меньше, чем для исходного состава, что составило 5,94%.

Результаты изучения физико-механических свойств асфальтобетона с исследуемыми минеральными наполнителями представлены в табл. 3.

Таблица 3

**Физико-механические свойства асфальтобетона**

Table 3

**Physical and mechanical properties of asphalt concrete**

Наименование показателя	Требования ГОСТ 9128-2013	Исходный	Гидрофобный
Предел прочности, МПа:			
При 20 °С не менее:	2,5	5,16	5,88
При 50 °С не менее:	1,3	2,1	2,45
При 0 °С Не более:	11,0	11,52	10,04

Продолжение таблицы 1  
Table continuation 1

Водостойкость, не менее:	0,90	0,91	0,93
Водостойкость при длительном насыщении, не менее:	0,85	0,87	0,90
Водонасыщение %	1,5-4,0	2,89	2,00
Набухание %	Не норм.	0,69	0,40

Данные, представленные в таблице, позволяют сделать вывод о том, что обработка минерального порошка Препаратом ГФ-1 положительно влияет на физико-механические характеристики асфальтобетона.

Прочность образцов асфальтобетона при 20°C увеличилась на 16,7%, при 50°C – на 14%, при 0°C уменьшилась на 14,7%.

По результатам можно сделать вывод, что гидрофобизация оказала значительное влияние на показатели водонасыщения, водостойкости и набухания. Водонасыщение образцов снизилось на 31%, набухание на 42%.

### Выводы

Обработка минерального порошка из шлака ОЭМК Препаратом ГФ-1 в значительной степени повышает физико-механические характеристики асфальтобетона. Препарат ГФ-1 обеспечивает необходимую гидрофобность минерального порошка с одновременным повышением его структурирующей способности, что положительно отображается на характеристиках асфальтобетона.

Можно предположить, что это приведет к повышению эксплуатационных свойств асфальтобетонного покрытия.

### Благодарность

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

### Литература

1. Гезенцев Л.Б. Дорожный асфальтобетон. Москва: Транспорт, 1985. 350 с.
2. Миронов В.А., Голубев А.И., Тимофеев А.Г. Улучшение качества асфальтобетона регулированием свойств сырьевых материалов // Строительные материалы. 2007. № 5. С. 26 – 27.
3. Васильовская Г.В. Назиров Д.Р. Применение отходов промышленности в качестве минерального порошка в асфальтобетоне // Вестник ИГТУ. 2013. № 10. С. 153 – 157.
4. Мороз М.Н., Белякова Е.А., Семенов А.А., Петухов А.В. Повышение водостойкости шлакощелочного вяжущего современными гидрофобизаторами // Современные научные исследования и инновации. 2014. № 12. Ч. 1 [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2014/12/41890> (дата обращения: 02.02.2020)
5. Рахимбаев Ш.М., Погромский А.С., Духовный Г.С., Аниканова Т.В. К вопросу о фазовом составе и рациональном применении саморассыпающихся сталеплавильных шлаков // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2008. № 1. С. 49 – 52.
6. Расстегаева Г.А. Активные и активированные минеральные порошки из отходов промышленности: монография: Изд-во Воронеж.гос.ун-та. 2002. 187 с.
7. Пугин К.Г. Юшков В.С. Технические условия применения минерального порошка из отходов металлургии для асфальтобетонных смесей // Молодой ученый, 2010. Том 1. № 8. С. 113 – 116.
8. Калашников В.И., Хвастунов В.Л., Нестеров В.Ю., Василик П.Г. Органические гидрофобизаторы в минеральношлаковых композиционных материалах из горных пород // Строительные материалы. 2005. № 4. С. 26 – 29.
9. Копылов В.Е., Буренина О.Н., Павлова Е.А. Активация минеральных порошков, как способ улучшения физико-механических характеристик асфальтовых бетонов [Электронный ресурс]. <https://naukovedenie.ru/PDF/48TVN517.pdf>
10. Ковалев Я.Н. Активационные технологии дорожных композиционных материалов (научно-практические основы). Мн.: Белорусская Энциклопедия, 2002. 334 с.

11. Курьянов В.В. Исследование способов активации минерального порошка завода «Красцветмет» // Сб. Материалов V11 Всерос. Научно-техн.конф.студентов, аспирантов, и молодых учёных «Молодежь и наука». Красноярск: Сиб. федер.ун-т. 2011. С. 23 – 25.
12. Першин М.Н., Молодежкин С.О. Пат. 2112759, Российская Федерация. Активированный минеральный порошок для асфальтобетонных смесей. заявл. 08.01.1997; опубл.27.10.1998.
13. Технические рекомендации по применению активирующей смеси для приготовления активированного минерального порошка марки МП-1. ТУ 2490-081-00205423-2009.
14. ГОСТ 52129-2003. Порошок минеральный для асфальтобетонных и органоминеральных смесей. Технические условия. Введ: 2003-06-27. № 119. С. 33.
15. Пыриг Я.И. О структурирующей способности минеральных порошков // Труды ХНАДУ. 2014 (67). С. 89 – 93.
16. Гезенцевей Л.Б. Асфальтовый бетон из активированных минеральных материалов. М.: Стройиздат, 1971. 255 с.
17. Борисенко О.А. Влияние дисперсности и удельной поверхности минерального порошка на формирование структуры и физико-механических свойств асфальтобетона // Сб. науч.тр. СевКавГТУ. Серия: «Естественнонаучная» / Северо-Кавказский гос.тех.ун-т. Ставрополь, 2004. С. 1 – 5.
18. Алексеенко В.В, Салтанова Ю.В. Использование модифицированных минеральных порошков при производстве горячего асфальтобетона // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2016. Том 2. № 2. С. 1 – 5.
19. Мисников О.С., Белугин Д.Ю. Разработка метода гидрофобной модификации строительных материалов органическими добавками на основе торфа // Торф и бизнес. 2007. № 1 (7). С. 38 – 46.
20. Кайдалова И.И., Кузнецова Е.В. Улучшения свойств минерального порошка в результате обработки гидрофобизатором // В сб.: Актуальные вопросы технических наук и техники: сб.науч.трудов по итогам Международ.науч.-практ.конф. Белгород: изд-во БГТУ, 2017. С.11 – 13.
21. Рекомендации по применению препарата ГФ (гидрофобизатор) для минеральных порошков // Инновационные дорожные материалы «ООО СЕЛЕНА». С. 1 – 5.

### References

1. Gezencvej L.B. Dorozhnyj asfal'tobeton. Moskva: Transport, 1985. 350 p. (rus.)
2. Mironov V.A., Golubev A.I., Timofeev A.G. Uluchshenie kachestva asfal'tobetona regulirovaniem svojstv syr'evyh materialov. Stroitel'nye materialy. 2007. 5. P. 26 – 27. (rus.)
3. Vasilovskaya G.V. Nazirov D.R. Primenenie othodov promyshlennosti v kachestve mineral'nogo poroshka v asfal'tobetone. Vestnik IGTU. 2013. 0. P. 153 – 157. (rus.)
4. Moroz M.N., Belyakova E.A., Cemenov A.A., Petuhov A.V. Povyshenie vodostojkosti shlakoshche-lochnogo vyazhushchego sovremennymi gidrofobizatorami. Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovacii. 2014. 12 (1) [Elektronnyj resurs]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2014/12/41890> (data obrashcheniya: 02.02.2020 (rus.)
5. Rahimbaev SH.M., Pogromskij A.S., Duhovnyj G.S., Anikanova T.V. K voprosu o fazovom sostave i racional'nom primenении samorassypayushchihsya staleplavil'nyh shlakov. Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. SHuhova. 2008. 1. P. 49 – 52. (rus.)
6. Rasstegaeva G.A. Aktivnye i aktivirovannye mineral'nye poroshki iz othodov promyshlennosti: monografiya: Izd-vo Voronezh.gos.un-ta. 2002. 187 p. (rus.)
7. Pugin K.G. YUshkov V.S. Tekhnicheskie usloviya primeneniya mineral'nogo poroshka iz othodov metal-lurgii dlya asfal'tobetonnyh smesey. Molodoj uchenyj, 2010. 1 (8). P. 113 – 116. (rus.)
8. Kalashnikov V.I., Hvastunov V.L., Nesterov V.YU., Vasilik P.G. Organicheskie gidrofobizatory v mineral'noshlakovyh kompozicionnyh materialah iz gornyh porod. Stroitel'nye materialy. 2005. 4. P. 26 – 29. (rus.)
9. Kopylov V.E., Burenina O.N., Pavlova E.A. Aktivaciya mineral'nyh poroshkov, kak sposob uluchsheniya fiziko-mekhanicheskikh harakteristik asfal'tovyh betonov [Elektronnyj resurs]. <https://naukovedenie.ru/PDF/48TVN517.pdf> (rus.)
10. Kovalev YA.N. Aktivacionnye tekhnologii dorozhnyh kompozicionnyh materialov (nauchno-prakticheskie osnovy). Mn.: Beloruskaya Encyklopediya, 2002. 334 p. (rus.)
11. Kur'yanov V.V. Issledovanie sposobov aktivacii mineral'nogo poroshka zavoda «Krascvetmet». Sb. Materialov V11 Vseros. Nauchno-tekhn.konf.studentov, aspirantov, i molodyh uchyonyh «Molodezh' i nauka». Krasnoyarsk: Sib. feder.un-t. 2011. P. 23 – 25. (rus.)

12. Pershin M.N., Molodezhkin S.O. Pat. 2112759, Rossijskaya Federaciya. Aktivirovannyj mineral'nyj poroshok dlya asfal'tobetonnyh smesej. zayavl. 08.01.1997; opubl.27.10.1998. (rus.)
13. Tekhnicheskie rekomendacii po primeneniyu aktiviruyushchej smesi dlya prigotovleniya aktivirovannogo mineral'nogo poroshka marki MP-1. TU 2490-081-00205423-2009. (rus.)
14. Russian State Standart GOST 52129-2003. Poroshok mineral'nyj dlya asfal'tobetonnyh i organomineral'nyh smesej. Tekhnicheskie usloviya. Vved: 2003-06-27. 119. P. 33. (rus.)
15. Pyrig YA.I. O strukturiruyushchej sposobnosti mineral'nyh poroshkov. Trudy HNADU. 2014 (67). P. 89 – 93. (rus.)
16. Gezencvej L.B. Asfal'tovyj beton iz aktivirovannyh mineral'nyh materialov. M.: Strojizdat, 1971. 255 p. (rus.)
17. Borisenko O.A. Vliyanie dispersnosti i udel'noj poverhnosti mineral'nogo poroshka na formirovanie struktury i fiziko-mekhanicheskikh svojstv asfal'tobetona. Sb. nauch.tr. SevKavGTU. Seriya: «Estestvennonauchnaya». Severo-Kavkazskij gos.tekh.un-t. Stavropol', 2004. P. 1 – 5. (rus.)
18. 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). P. 1 – 5. (rus.)
19. Misnikov O.S., Belugin D.YU. Razrabotka metoda gidrofobnoj modifikacii stroitel'nyh materialov organicheskimi dobavkami na osnove torfa. Torf i biznes. 2007. 1 (7). P. 38 – 46. (rus.)
20. Kajdalova I.I., Kuznecova E.V. Uluchsheniya svojstv mineral'nogo poroshka v rezul'tate obrabotki gidrofobizatorom. V sb.: Aktual'nye voprosy tekhnicheskikh nauk i tekhniki: sb. nauch.trudov po itogam Mezhdunarod.nauch.-prakt.konf.Belgorod: izd-vo BGTU, 2017. P.11 – 13. (rus.)
21. Rekomendacii po primeneniyu preparata GF (gidrofobizator) dlya mineral'nyh poroshkov. Innovacionnye dorozhnye materialy «OOO SELENA». P. 1 – 5. (rus.)

*Yadykina V.V., Doctor of Engineering Sciences (Advanced Doctor), Professor,  
Gridchin A.M., Doctor of Engineering Sciences (Advanced Doctor), Professor,  
Kuznetsova E.V. \*, Postgraduate,*

*Lebedev M.S., Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.),  
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*

\*Corresponding author E-mail: kuznecova.k@inbox.ru

## INCREASING THE EFFICIENCY OF MINERAL POWDER FROM TECHNOGENIC RAW MATERIALS DUE TO ITS HYDROPHOBIZATION

**Abstract:** a promising direction in solving the problem of obtaining high-quality asphalt concrete is the use of mineral fillers, including from industrial waste.

The article considers the use of OEMK slag as a mineral powder in the asphalt concrete mix.

The influence of hydrophobization of mineral powder by GF Preparation on moisture absorption and its structuring ability to change the maximum shear stress from the content of mineral powder before and after hydrophobization was studied. It is established that the treatment of the filler provides the necessary hydrophobicity of the mineral material, reduces the bituminous capacity, water saturation, porosity of the asphalt binder, and increases its strength and water resistance. The results of studies of the main characteristics of asphalt concrete on the example of a mixture of type G III of the brand showed that as a result of hydrophobization, the strength, water resistance, water saturation, and swelling of the composite significantly increase.

**Keywords:** asphalt concrete, mineral powder, OEMK slag, hydrophobization, physical and chemical characteristics

**Для цитирования:** Ядыкина В.В., Гридчин А.М., Кузнецова Е.В., Лебедев М.С. Повышение эффективности минерального порошка из техногенного сырья за счет его гидрофобизации // Строительные материалы и изделия. 2020. Том 3. № 4. С. 24 – 30. DOI:10.34031/2618-7183-2020-3-4-24-30

**For citation:** Yadykina V.V., Gridchin A.M., Kuznetsova E.V., Lebedev M.S. Increasing the efficiency of mineral powder from technogenic raw materials due to its hydrophobization. Construction Materials and Products. 2020. 3 (4). P. 24 – 30. DOI:10.34031/2618-7183-2020-3-4-24-30

Поступила в редакцию 12 марта 2020 г.  
Принята в доработанном виде 5 мая 2020 г.  
Одобрена для публикации 2 июля 2020 г.

Received: March 12, 2020.  
Revised: May 5, 2020.  
Accepted: July 2, 2020.