DOI: 10.15593/24111678/2016.04.02

УДК 625.855

Н.М. Бажуков, Л.С. Щепетева

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия

**ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
КУБОВИДНОГО МИНЕРАЛЬНОГО ПОРОШКА
И ОСОБЕННОСТИ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ В СОСТАВЕ
АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ**

Наиболее распространенным материалом для строительства покрытий автомобильных дорог является асфальтобетон, являющийся полидисперсным материалом. Показатели физико-механических свойств асфальтобетона, его эксплуатационные характеристики существенным образом зависят от свойств материалов, входящих в его состав. Современные научные исследования направлены на то, чтобы с помощью изменения и улучшения свойств компонентов целенаправленно регулировать структуру асфальтобетона. Одним из составляющих асфальтобетона является минеральный порошок, свойства которого (гранулометрический состав, пористость и др.) существенным образом зависят от вида и прочности исходной горной породы, а также способа производства. Минеральный порошок с очень высокой пористостью отличается повышенной битумоемкостью. При недостаточном количестве битума в асфальтобетоне повышенная пористость минерального порошка может приводить к снижению плотности асфальтобетона, повышению пористости и снижению коррозионной устойчивости. Определены свойства стандартного и кубовидного неактивированного минерального порошка. Кубовидный минеральный порошок, получаемый на вертикальных центробежных мельницах, обладает более выраженным структурирующим эффектом по сравнению со стандартным минеральным порошком, получаемым на шаровых мельницах. Подобран состав асфальтобетонной смеси типа Б на основе стандартного минерального порошка и кубовидного, полученного путем помола на вертикальных центробежных мельницах. Проанализированы предел прочности при сжатии и прогнозируемая теплостойкость получаемого состава. Асфальтобетон на основе кубовидного минерального порошка отличается повышенной плотностью, прочностью и водостойкостью.

Ключевые слова: кубовидный минеральный порошок, асфальтобетонная смесь, автомобильная дорога, асфальтобетон, физико-механические свойства, битумоемкость, пористость, гранулометрический состав, прочность.

N.M. Bazhukov, L.S. Shchepeteva

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

**PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES
OF THE CUBE-SHAPED MINERAL POWDER
AND ESPECIALLY ITS USE IN THE ASPHALT MIXTURE**

The most common material for the construction of road surfaces is asphalt, which is a polydisperse material. The physical and mechanical properties of asphalt concrete, its performance significantly depends on the properties of materials, included in its composition. Modern scientific research aimed at using to change and improve the properties of the components purposefully adjust the structure of asphalt concrete. One component is a mineral asphalt concrete powder whose properties (grain

size, porosity, etc.) mineral powder with a very high porosity has high bitumen capacitance. With insufficient amount of bitumen in the asphalt concrete increased porosity mineral powder may reduce the density of the asphalt concrete, reducing porosity and improving corrosion resistance. Properties of the standard and cube-shaped non-activated mineral powder are achieved. Cube-shaped mineral powder obtained by vertical centrifugal mills has a more pronounced structure effect compared with standard mineral powder obtained on ball mills. Composition of B-type asphalt mixture on the basis of a standard mineral powder and cube-shaped, obtained by grinding vertical mill is selected. Compressive strength and target heat resistance of the resulting composition are analyzed. Asphalt-based cube-shaped mineral powder has high density, durability and water resistance.

Keywords: cube-shaped mineral powder, asphalt concrete mix, automobile road, asphalt concrete, physical and mechanical properties, bitumen capacitance, porosity, grain size, strength.

В современных условиях при строительстве автомобильных дорог основным материалом для устройства покрытий является асфальтобетон. Начиная с конца XIX столетия состав асфальтобетонной смеси стали проектировать целенаправленно, стремясь при этом создать оптимальную структуру материала с заданными свойствами. Задачи создания наиболее прочного, долговечного материала для устройства асфальтобетонных покрытий остаются актуальными по сей день. Известны различные методы проектирования состава асфальтобетона, например по асфальтовому вяжущему веществу (метод профессора П.В. Сахарова), по предельным кривым плотных смесей на основе исследований профессора Н.Н. Иванова (метод СоюздорНИИ) и др. [1]. Одним из важнейших требований, предъявляемых к асфальтобетону, является обеспечение повышенной теплостойкости и, соответственно, сдвигоустойчивости, устойчивости к колееобразованию асфальтобетонных покрытий при высоких летних температурах [1–3]. В настоящее время одним из эффективных и наиболее распространенных направлений работы по повышению сдвигоустойчивости асфальтобетонных покрытий является модификация битумов различными добавками с целью регулирования их свойств. Наиболее широкое применение получили полимерно-битумные и резинобитумные вяжущие. Считается, что именно повышение термостабильности битумного вяжущего обеспечивает сдвигоустойчивость асфальтобетонных покрытий [4–8]. Вместе с тем существуют рекомендации по обеспечению сдвигоустойчивости асфальтобетонных покрытий в результате применения каркасных асфальтобетонов за счет повышения внутреннего трения минерального остова. Устойчивость покрытий из таких смесей обеспечивается в результате механической заклинки частиц угловатой (кубовидной) формы [1, 3]. В связи с этим заслуживает внимания применение в составе асфальтобетонных смесей минерального порошка кубовидной формы. Минеральный порошок, обладая высокой удель-

ной поверхностью (на его долю приходится до 95 % от общей поверхности минеральных частиц), играет определяющую роль в процессах структурообразования асфальтобетона. Он способствует переводу объемного битума в пленочное состояние, в результате чего повышаются вязкость и прочность битумных слоев, связывающих между собой минеральные частицы. Определенное количество минерального порошка в составе асфальтобетона приводит к заполнению межзерновых пустот и способствует повышению плотности минерального остова и самого асфальтобетона. Впервые назначение минерального порошка как структурообразующего компонента в составе асфальтобетона определил П.В. Сахаров, назвав минеральный порошок «асфальтирующей добавкой» к битуму [9]. Доказано, что прочность асфальтобетонных смесей определяется плотностью упаковки зерен минеральных материалов и прочностью их сцепления между собой. Плотность упаковки зависит от формы и размера зерен, а прочность сцепления на контактах – от толщины и прочности пленки битума, природы минерального материала и степени его дисперсности, определяющей удельную поверхность контактов, и других факторов [10–13]. При взаимодействии битума с поверхностью минеральных частиц происходит избирательная фильтрация компонентов битума в поры минерального материала, пленка битума становится более тонкой и прочной, сцепление с поверхностью частиц – более прочным. В то же время слои битума на поверхности минеральных частиц несколько обедняются смолами и маслами, которые концентрируются в поверхностных микропорах и в более глубоких порах, что может приводить к повышению жесткости асфальтобетона. С этой точки зрения пористость зерен минерального порошка имеет большое значение, так как взаимодействие с битумом обусловлено разветвленной системой микропор. Чем выше удельная поверхность частиц минерального порошка, тем более эффективно проявляется его структурирующее влияние на битум. Однако необходимо отметить, что очень высокая дисперсность неактивированных минеральных порошков часто не реализуется в асфальтобетоне в результате агрегирования мелких частиц [2] (рис. 1).

Наличие образующихся агрегатов в асфальтобетоне приводит к снижению плотности материала и его коррозионной устойчивости при воздействии воды и знакопеременных температур. Минеральные порошки с необходимой удельной поверхностью получают путем измельчения исходной породы на шаровых мельницах до требуемого

Рис. 1. Агрегаты из мелкодисперсных компонентов неактивированного минерального порошка (по данным ООО НПП «Бентониты Урала»)

гранулометрического состава. Считается, что наилучшими являются минеральные порошки, получаемые в результате тонкого измельчения известняков и доломитов [2]. Для приготовления минеральных порошков на шаровых мельницах обычно применяют известняки средней прочности (марки по дробимости от 200 до 800). При этом зерновой состав колеблется в широких пределах (рис. 2), а форма зерна в основном круглая (рис. 3). Применение слишком прочных известняков на шаровых мельницах ограничивается трудностью их помола и, как следствие, большими энергозатратами. Кроме зернового состава (для неактивированных минеральных порошков содержание частиц мельче 0,071 мм не менее 70 %; содержание частиц мельче 1,25 мм – 100 %), важным является распределение фракций в нем, которое может быть охарактеризовано пористостью. Порошки с равномерным распределением частиц разного размера отличаются пониженной пористостью и, следовательно, меньшей битумоемкостью. Порошки из малопрочных известняков, получаемые способом измельчения горной породы на шаровых мельницах, характеризуются повышенной пористостью. В качестве инновационного

Рис. 2. Синусоидальный график минерального порошка (стандартного), полученный с помощью лазерного прибора Mastersizer

Рис. 3. Фото минерального порошка (стандартного), полученного на шаровых мельницах

продукта можно рассматривать кубовидный минеральный порошок, полученный на вертикальных центробежных мельницах в ООО НПП «Бентониты Урала». Для приготовления минеральных порошков на вертикальных мельницах применяют известняки марки по дробимости от 1000 и больше. В этом случае зерновой состав минерального порошка колеблется в узких пределах (рис. 4), а форма в основном кубовидная (рис. 5).

Рис. 4. Синусоидальный график минерального порошка (кубовидного), полученный с помощью лазерного прибора Mastersizer

Рис. 5. Фото минерального порошка (кубовидного), полученного на установках вертикального дробления

На рис. 3 показана неоднородная форма зерен (196,3; 154,0; 2–12 мкм), что подтверждается графиком измерения фракционного состава на приборе Mastersizer (см. рис. 2).

На рис. 5 и на синусоидальном графике (см. рис. 4) видно, что содержание мелкодисперсных фракций МП-1 от 0,3 до 10 мкм не превышает 5 %. Форма зерен минерального порошка – кубовидная.

Определение свойств стандартного и кубовидного неактивированного минерального порошка было выполнено в соответствии с ГОСТ Р 52129–2003 на базе лаборатории кафедры «Автомобильные дороги и мосты» Пермского национального исследовательского политехнического университета. Результаты испытаний минеральных порошков приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты испытаний минеральных порошков

№ п/п	Показатель	Требования ГОСТ Р 52129–2003	Фактические показатели	
1	Марка порошка	МП-1 неактивированный	МП-1 стандартный неактивированный	МП-1 кубовидный неактивированный
2	Зерновой состав, %: – мельче 1,25 мм – 0,315 мм – 0,071 мм	Не менее 100 Не менее 90 От 70 до 80	100 96,12 74,70	100 99,58 78,20
3	Пористость, %, не более	35	37	32
4	Влажность, мас. %, не более	1,0	0,17	0,06
5	Набухание образцов из смеси порошка с битумом, %, не более	2,5	0,2	0,5
6	Плотность минерального порошка, г/см ³	Не нормируется	2,72	2,71

Анализ результатов, приведенных в табл. 1, показывает, что пористость стандартного неактивированного минерального порошка, полученного путем помола на шаровых мельницах, равная 37 %, превышает пористость кубовидного минерального порошка и требования ГОСТ Р 52129–2003 (не более 35 %). Как было отмечено ранее, минеральный порошок с очень высокой пористостью отличается повышенной битумоемкостью. При недостаточном количестве битума в асфальтобетоне повышенная пористость минерального порошка может приводить к снижению плотности асфальтобетона, повышению пористости и снижению коррозионной устойчивости.

В лаборатории был подобран состав асфальтобетонной смеси типа Б на основе стандартного минерального порошка и кубовидного, полученного путем помола на вертикальных центробежных мельницах. Результаты испытаний асфальтобетона приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты испытаний асфальтобетона

№ п/п	Показатель	Требования ГОСТ 9128–2013	Асфальтобетон плотный, тип Б, II марки, с кубовидным порошком	Асфальтобетон плотный, тип Б, II марки, со стандартным порошком
1	Средняя плотность, г/см ³	–	2,48	2,44
2	Остаточная пористость, %	Св. 2,5 до 5,0	2,42	2,9
3	Пористость минеральной части, %	Св. 14 до 19	13,8	14,75
5	Предел прочности при сжатии: – 20 °С, не менее	2,2	4,89	4,3
	– 0 °С, не более	12,0	7,92	7,2
	– 50 °С, не менее	1,0	2,3	1,81
6	Водостойкость, не менее	0,85	0,86	0,87
7	Водостойкость при длительном водонасыщении, не менее	0,75	0,90	0,81

Таким образом, из табл. 2 видно, что асфальтобетон на основе кубовидного минерального порошка имеет более высокую плотность, меньшее значение пористости минерального остова и остаточной пористости по сравнению с асфальтобетоном, в котором использован стандартный минеральный порошок. Асфальтобетон с применением кубовидного минерального порошка отличается более высокими значениями пределов прочности при сжатии при 20 и 50 °С и более высоким показателем водостойкости при длительном водонасыщении, что косвенно характеризует более высокую коррозионную устойчивость асфальтобетона. Предел прочности при сжатии при 50 °С для асфальтобетона на кубовидном минеральном порошке почти на 30 % превышает предел прочности при сжатии при 50 °С для асфальтобетона на стандартном минеральном порошке, что свидетельствует о более высокой теплостойкости асфальтобетона.

Список литературы

1. Кирюхин Г.Н. Проектирование состава асфальтобетона и методы его испытаний. – М.: Информавтодор, 2005. – 90 с.
2. Дорожный асфальтобетон / под ред. Л.Б. Гезенцева. – М.: Транспорт, 1985. – 350 с.
3. Горелышева Л.А. Повышение качества покрытий нежестких дорожных одежд. – М.: Информавтодор, 2008. – 76 с.

4. Бонченко Г.А. Асфальтобетон. Сдвигоустойчивость и технология модифицирования полимером. – М.: Машиностроение, 1994. – 175 с.
5. Кинг Г.Н., Радовский Б.С. Свойства полимерно-битумных вяжущих и разрабатываемые в США методы их испытания // Новости в дорожном деле. – 2004. – Вып. 6. – С. 1–28.
6. Илиополов С.К., Углова Е.В. Долговечность асфальтобетонных покрытий в условиях роста динамического воздействия транспортных средств. – М.: Информавтодор, 2007. – 84 с.
7. Применение модифицированных битумов производства ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез» в дорожном строительстве Пермского края / Л.С. Щепетева, А.В. Березин, И.В. Овчаров, Р.Г. Шпенст, А.С. Дегтянников, А.Н. Нечаев // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2010. – № 6. – С. 54–57.
8. Повышение термостабильности асфальтобетона путем применения модификатора «МКА Эластен» / Л.С. Щепетева, Д.А. Агапитов, Ю.М. Штейнберг, Р.А. Горелик, Ю.А. Искрина, В.Н. Балыбердин // Строительные материалы. – 2012. – № 10. – С. 32–33.
9. Сахаров П.В. Способы проектирования асфальтобетонных смесей // Транспорт и дороги города. – 1935. – № 12. – С. 22–26.
10. Колбановская А.С., Михайлов В.В. Дорожные битумы. – М.: Транспорт, 1973. – 264 с.
11. Колбановская А.С., Гезенцевей Л.Б., Михайлов В.В. Роль тонких слоев битума в процессах структурообразования дисперсных битумоминеральных материалов // Коллоидный журнал. – 1963. – Т. 25, № 3. – С. 321–328.
12. Радовский Б.С. Проектирование состава асфальтобетонных смесей по методу «Суперпейв» // Дорожная техника. – 2007. – С. 86–99.
13. Радовский Б.С. Современное состояние разработки американского метода асфальтобетонных смесей «Суперпейв» // Дорожная техника. – 2008. – С. 12–22.

References

1. Kiriukhin G.N. Proektirovanie sostava asfal'tobetona i metody ego ispytanii [Designing the composition of asphalt concrete and methods of testing]. Moscow: Informavtodor, 2005. 90 p.
2. Gezentsvei L.B. Dorozhnyi asfal'tobeton [Road asphalt]. Moscow: Transport, 1985. 350 p.

3. Gorelysheva L.A. Povyshenie kachestva pokrytii nezhestkikh dorozhnykh odezhd [Improving the quality of coatings of non-rigid pavements]. Moscow: Informavtodor, 2008. 76 p.

4. Bonchenko G.A. Asfal'tobeton. Sdvigoustoichivost' i tekhnologiya modifitsirovaniia polimerom [Asphalt. Shifts's resistance and polymer modification technology]. Moscow: Mashinostroenie, 1994. 175 p.

5. King G.N., Radovskii B.S. Svoistva polimerno-bitumnykh viazhushchikh i razrabatyvaemye v SShA metody ikh ispytaniia [Properties of polymer-bitumen binders and methods developed in the United States were tested]. *Novosti v dorozhnom dele*, 2004, iss. 6, pp. 1-28.

6. Iliopolov S.K., Uglova E.V. Dolgovechnost' asfal'tobetonnykh pokrytii v usloviakh rosta dinamicheskogo vozdeistviia transportnykh sredstv [The durability of asphalt concrete pavement in terms of growth dynamic impact of transport]. Moscow: Informavtodor, 2007. 84 p.

7. Shchepeteva L.S., Berezin A.V., Ovcharov I.V., Shpenst R.G., Degtiannikov A.S., Nechaev A.N. Primenenie modifitsirovannykh bitumov proizvodstva OOO "LUKOIL-Permnefteorgsintez" v dorozhnom stroitel'stve Permskogo kraia [The use of modified bitumen production of LLC "LUKOIL-Perm Refinery" in road building Perm region]. *Zashchita okruzhaiushchei sredy v neftegazovom komplekse*, 2010, no. 6, pp. 54-57.

8. Shchepeteva L.S., Agapitov D.A., Shteinberg Iu.M., Gorelik R.A., Iskrina Iu.A., Balyberdin V.N. Povyshenie termostabil'nosti asfal'tobetona putem primeneniia modifikatora "MKA Elasten" [Increasing the thermal stability of asphalt concrete by applying the modifier "ICA Elast"]. *Stroitel'nye materialy*, 2012, no. 10, pp. 32-33.

9. Sakharov P.V. Sposoby proektirovaniia asfal'tobetonnykh smesei [Methods of designing asphalt mixes]. *Transport i dorogi goroda*, 1935, no. 12, pp. 22-26.

10. Kolbanovskaia A.S., Mikhailov V.V. Dorozhnye bitумы [Road bitumen]. Moscow: Transport, 1973. 264 p.

11. Kolbanovskaia A.S., Gezentsvei L.B., Mikhailov V.V. Rol' tonkikh sloev bituma v protsessakh strukturoobrazovaniia dispersnykh bitumomineral'nykh materialov [The role of the thin layers of bitumen in the processes of structure formation of dispersed bituminous materials]. *Kolloidnyi zhurnal*, 1963, vol. 25, no. 3, pp. 321-328.

12. Radovskii B.S. Proektirovanie sostava asfal'tobetonnykh smesei po metodu "Superpeiv" [Designing the composition of asphalt mixtures based on a "Superpave"]. *Dorozhnaia tekhnika*, 2007, pp. 86-99.

13. Radovskii B.S. Sovremennoe sostoianie razrabotki amerikanskogo metoda asfal'tobetonnykh smesei "Superpeiv" [The current state of development of the American method of asphalt mixtures "Superpave"]. *Dorozhnaia tekhnika*, 2008, pp. 12-22.

Получено 30.11.2016

Об авторах

Бажуков Никита Михайлович (Пермь, Россия) – магистрант кафедры «Автомобильные дороги и мосты», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, 19а, e-mail: bag993@mail.ru).

Щепетева Людмила Станиславовна (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент, исполняющая обязанности заведующего кафедрой «Автомобильные дороги и мосты», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, 19а, e-mail: shls54@mail.ru).

About the authors

Nikita M. Bazhukov (Perm, Russian Federation) – Master Student, Motor Roads and Bridges Department, Perm National Research Polytechnic University (19a, Academician Korolev st., Perm, 614013, Russian Federation, e-mail: bag993@mail.ru).

Liudmila S. Shchepeteva (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Acting Head of Department, Motor Roads and Bridges Department, Perm National Research Polytechnic University (19a, Academician Korolev st., Perm, 614013, Russian Federation, e-mail: shls54@mail.ru).