

## ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

УДК 666.972.124 + 691.168

## О СТРУКТУРИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МИНЕРАЛЬНЫХ ПОРОШКОВ

Я.И. Пыриг, к.т.н., ст. науч. сотр.,  
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

*Аннотация.* Приведены данные о структурирующей способности минеральных порошков. Оценено влияние природы минерального порошка, его гранулометрического состава и количества на структурирующую способность асфальтовяжущих веществ.

*Ключевые слова:* минеральный порошок, структурирующая способность, битум, температура размягчения.

## ПРО СТРУКТУРУЮЧУ ЗДАТНІСТЬ МІНЕРАЛЬНИХ ПОРОШКІВ

Я.І. Пиріг, к.т.н., ст. наук. співр.  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

*Анотація.* Наведено дані щодо структурируючої здатності мінеральних порошків. Оцінено вплив природи мінерального порошку, його гранулометричного складу і кількості на структуриуючу здатність асфальтов'язучих речовин.

*Ключові слова:* мінеральний порошок, структуриуюча здатність, бітум, температура розм'якшення.

## ON STRUCTURING ABILITY OF FILLERS

Y. Pyrih, Cand. Sc. (Eng.), Sr. Researcher,  
Kharkiv National Automobile and Highway University

*Abstract.* The data on structuring ability of fillers is singled out. The influence of the nature of the mineral filler, its granulometric composition and the mass on the structuring ability of asphalt - binbing substances is estimated.

*Key words:* filler, structuring ability, bitumen softening temperature, composition.

## Введение

Одним из основных компонентов асфальтобетона является минеральный порошок, на долю которого приходится более 90 % суммарной поверхности минеральных зерен. Согласно [1] минеральный порошок в асфальтобетоне играет двойственную роль – является заполнителем пустот между зернами минерального каркаса и выступает в роли вещества, образующего совместно с битумом дисперсную систему (асфальтовяжущее вещество), которая во многом определяет физико-механические свойства асфальтобетона

(плотность, прочность, теплостойкость, долговечность) [2, 3].

В настоящее время существует два подхода к оценке роли минерального порошка в составе асфальтобетона. Согласно американскому подходу минеральный порошок рассматривается как наполнитель асфальтобетонной смеси, используемый для повышения жесткости и уменьшения ползучести, увеличения плотности [4, 5]. При этом не рассматривается возможность химического взаимодействия между минеральным порошком и вяжущим.

Подход к изучению роли минерального порошка в составе асфальтобетона, принятый в странах бывшего СССР, предполагает наличие комплекса процессов, протекающих при долговременном контакте вяжущего с каменными материалами: физических, хемосорбционных и фильтрационных [6].

### Анализ публикаций

Изучением минеральных порошков занимались многие отечественные и зарубежные исследователи – Волков М.И., Борщ И.М., Горельшев Н.В., Бахрах Г.С., Рыбьева Т.Г., С. Richardson и другие [1, 6, 7]. В настоящее время изучение влияния минеральных порошков на свойства битумов и асфальтобетонов продолжается с использованием современных методов исследования [3, 5].

### Цель и постановка задачи

С 1 января 2015 г. вводится в действие ДСТУ Б В.2.7-121:2014 «Порошок минеральный для асфальтобетонных смесей. Технические условия», который отличается от действовавшего ранее ДСТУ Б В.2.7-121:2003 наличием нескольких новых классификаций минеральных порошков по предложенным нормируемым физико-техническим показателям качества: структурирующей способности, числу пластичности, степени гидрофобности.

Структурирующая способность минерального порошка является одним из важных показателей его качества, поскольку косвенно характеризует пористость и степень развитости внутренней поверхности минеральных зерен.

Целью работы было исследование влияния природы минеральных порошков, используемых в дорожном строительстве Украины, на их структурирующую способность.

### Экспериментальные данные

Согласно ДСТУ Б В.2.7-121:2014 структурирующая способность минеральных порошков оценивается по разности значений температуры размягчения, определенной для асфальтовяжущего вещества и чистого битума.

Введенный в ДСТУ Б В.2.7-121:2014 метод оценки структурирующей способности по-

рошков близок к нормируемому в странах ЕС методу, приведенному в EN 13179-1:2000 [8].

Согласно европейскому стандарту для приготовления асфальтовяжущего вещества используется битум, глубина проникания при 25 °С которого находится в пределах 60–70×0,1 мм. Объемная концентрация минерального порошка с размером зерен менее 0,08 мм в составе асфальтовяжущего вещества определяется по формуле с учетом его плотности и плотности битума. Объединение порошка с битумом осуществляется при температуре (150 ± 5) °С.

В ДСТУ Б В.2.7-121:2014 для приготовления асфальтовяжущего вещества рекомендуется использовать битум марки БНД 60/90, который в количестве 40 % по массе смешивается с 60 % по массе исследуемого минерального порошка с размером зерен менее 0,071 мм. Температура смешивания асфальтовяжущего вещества не оговаривается.

В качестве объектов исследования были приняты порошки из известняка, гранита, песчаника, доломита, а также цемент (табл. 1).

Таблица 1 Объекты исследования

Шифр	Минеральный материал, из которого произведен минеральный порошок
И-1	Известняк
Г	Гранит (докембрий)
П	Песчаник
И-2	Карбонаты (известняк)
Д	Доломит (карбонаты)
ПЦ	Портландцемент низкой активности

В качестве вяжущих был принят битум производства Ярославского НПЗ (Россия) марки БНД 60/90, характеризующийся глубиной проникания иглы при 25 °С – 64×0,1 мм и температурой размягчения 48,8 °С, а также остаточный битум Nynas фирмы Akzo Nobel (Швеция) с пенетрацией 67×0,1 мм и температурой размягчения 46,6 °С. Асфальтовяжущие вещества приготавливались при температуре смешения 150–155 °С.

В связи с существующей разницей в зерновом составе минеральных порошков, применяемых для приготовления асфальтовяжущего вещества, согласно ДСТУ Б В.2.7-121:2014 (зерна менее 0,071 мм) и EN 13179-1:2000 (зерна менее 0,08 мм) была выполнена оценка влияния максимальной крупности частиц

минерального порошка на его структурирующую способность. Для этого перед приготовлением асфальтовяжущих веществ из исходных порошков отсеивали частицы крупнее 0,08 мм и крупнее 0,071 мм и определяли их содержание в составе принятых минеральных порошков (табл. 2). Были приготовлены асфальтовяжущие вещества на окисленном битуме БНД 60/90 и минеральных порошках исходного зернового состава, а также на отсеянных порошках с частицами менее 0,08 мм и 0,071 мм.

Таблица 2 Содержание (%) в минеральных порошках частиц мельче 0,080 мм и 0,071 мм

Шифр минерального порошка	Размеры ячеек сит, мм		Содержание частиц с размером 0,071–0,08 мм, %
	0,080	0,071	
Известняк И-2	69,1	65,3	3,8
Гранит Г	73,7	67,7	6,0
Песчаник П	78,9	76,8	2,1
Известняк И-1	84,7	82,1	2,6
Доломит Д	66,0	61,4	4,6
Цемент ПЦ	90,3	80,5	9,8

Полученные данные (табл. 3) свидетельствуют о том, что разность между значениями температур размягчения асфальтовяжущих веществ, приготовленных на минеральных порошках с размером зерен, не превышающих 0,08 мм и 0,071 мм, находится в пределах ошибки эксперимента, нормируемой ГОСТ 11506-73 (наибольшее экспериментальное расхождение составляет 1,2 °С, при допустимом нормативном значении 1,0 °С). Следовательно, возможно сопоставлять результаты структурирующей способности порошков, определенных по отечественному и европейскому стандартам. Согласно данным, приведенным в табл. 2 и 3, не существует корреляции между величиной содержания частиц с размером 0,071–0,08 мм и разностью значений структурирующей способности  $T_{0,071} - T_{0,08}$ . В то же время следует тщательно придерживаться требования ДСТУ Б В.2.7-121:2014 по определению структурирующей способности на минеральных порошках с размером зерен менее 0,071 мм, поскольку в противном случае возможна существенная погрешность значений структурирующей способности (2,3–4,3 °С, что составляет от 16 до 24 %).

Структурирующая способность всех минеральных порошков, кроме доломита, находится в пределах 10–20 °С, тем самым отве-

чая требованиям европейских норм. Согласно ДСТУ Б В.2.7-121:2014 рассмотренные минеральные порошки, кроме доломита, по значению структурирующей способности могут быть отнесены к группе  $\Delta_{КШ} 10/20$ .

Таблица 3 Оценка влияния максимальной крупности зерен порошка на его структурирующую способность

Размер частиц порошка	Структурирующая способность асфальтовяжущих веществ, °С, приготовленных на порошках					
	И-1	Д	Г	П	ПЦ	И-2
<0,071	15,5	30,1	18,0	13,8	10,5	13,9
<0,08	15,7	31,3	18,1	13,2	9,9	12,8
без отсева	-	-	13,7	10,8	-	11,6
$T_{0,071} - T_{0,08}$	-0,2	-1,2	-0,1	0,6	0,6	0,9
$T_{0,071} - T_{\text{без отсева}}$	-	-	4,3	3,0	-	2,3

Доломит в наибольшей степени структурирует битум (температура размягчения увеличивается на 30,1 °С), что, вероятно, объясняется его высокой адсорбирующей способностью [9] и пористостью. Это может привести к ухудшению физико-механических показателей асфальтобетонов в отношении трещиностойкости и увеличению расхода битума, необходимого для достижения оптимальных свойств асфальтобетона.

При объединении минерального порошка с битумом, в результате физико-химических процессов, протекающих на границе раздела фаз, происходит переход битума из объемного состояния в структурированное, сопровождаемое существенным изменением свойств битума и асфальтовяжущего вещества. Под влиянием минерального вещества на его поверхности в результате адсорбционных процессов формируется пленочный слой битума, состоящий из ориентированных асфальтено-смолистых компонентов битума. Масляные компоненты битума частично диффундируют в поры порошка, а оставшаяся их часть выступает в роли смазки, обеспечивая тем самым пластичность вещества. При последовательном увеличении концентрации минерального порошка в асфальтовяжущем начинает формироваться структура с контактным расположением зерен порошка, что существенно сказывается на увеличении предельного напряжения сдвига смеси и, соответственно, увеличении ее температуры размягчения.

Оценка влияния концентрации минерального порошка на значение его структурирующей

способности была выполнена на минеральных порошках полного гранулометрического состава из известняка (И-1), гранита и песчаника (табл. 4).

Согласно полученным данным (табл. 4) усиливающая способность минерального порошка существенно зависит от его содержания [10]. При малых концентрациях порошка до 40 % разность температур размягчения не превышает 4,3 % и минеральный порошок выступает в роли наполнителя. С увеличением его содержания свыше 40 % наблюдается интенсивное структурообразование, проявлением которого является значительное увеличение температуры размягчения. Степень увеличения усиливающей способности порошков зависит от их гранулометрического и минералогического состава.

Таблица 4 Зависимость структурирующей способности порошка, вида его сырья и содержания

Минеральный порошок	Структурирующая способность минеральных порошков, °С, при их содержании в составе асфальто вяжущего вещества, %		
	20	40	60
Известняк И-1	2,3	4,4	11,6
Гранит Г	1,6	4,3	13,7
Песчаник П	1,3	4,3	10,8

Большой рост температуры размягчения асфальто вяжущих веществ с увеличением содержания минерального порошка наблюдается в случае минерального порошка из гранита, что совпадает с результатами, полученными И.М. Борщ [11].

Выполненная оценка влияния активации минерального порошка (2,5 % битума БНД 60/90, в который было введено 0,3 % катионактивной добавки УДОМ-4) на его значение структурирующей способности показала, что активация приводит к незначительному снижению структурирующей способности, величина которого для принятого известнякового минерального порошка (И-2) не превышает 1,8 °С. Это может быть связано с формированием при активации порошка ослабленной адсорбционной пленки.

В ходе выполнения работы было оценено влияние технологии производства вяжущего, применяющегося для приготовления асфальто вяжущих веществ, на структурирующую способность порошков. Влияние технологии

производства битума оценивалось путем сравнения значений температуры размягчения асфальто вяжущих веществ, приготовленных на остаточном и окисленном битумах (табл. 5).



Рис. 1. Влияние активации минерального порошка на его структурирующую способность

Таблица 5 Влияние технологии производства вяжущего на структурирующую способность порошков

Битум	Размер частиц порошка	Структурирующая способность асфальто вяжущих веществ, °С, приготовленных на порошках		
		Доломит Д	Гранит Г	Известняк И-2
БНД 60/90	<0,071	30,1	18,0	13,9
	<0,08	31,3	18,1	12,8
НБ 60/70	<0,071	27,1	18,3	14,2
	<0,08	28,3	18,8	13,0
Т <sub>БНД</sub> -Т <sub>НБ</sub>	0,071/0,08	3,0/3,0	-0,3/-0,7	-0,3/-0,2

Технологический тип битума в наибольшей степени сказывается на структурирующей способности доломитового минерального порошка. При этом разность значений температур размягчения для асфальто вяжущих веществ, приготовленных на окисленном и остаточном битумах и доломитовом минеральном порошке, достигает 3,0–4,0 °С, а для асфальто вяжущих веществ, приготовленных на известняковом и гранитном минеральных порошках, эти разности находятся в пределах погрешностей и не превышают 1 °С. Вероятно, это можно объяснить более высокой пористостью принятого доломитового минерального порошка, большей избирательной диффузией им жидких углеводородов и большим содержанием способных к адсорбции асфальтенов в окисленном битуме.

### Выводы

Структурирующая способность является одним из важнейших показателей качества минеральных порошков, на основе которой может быть принято решение о целесообразности их применения при приготовлении асфальтобетонных смесей. Низкое значение структурирующей способности свидетельствует о недостаточной усиливающей способности минеральных порошков, а слишком высокое значение – о возможности охрупчивания вяжущего и увеличении оптимального количества в составе асфальтобетона.

Влияние гранулометрического состава минерального порошка в значительной степени сказывается на его структурирующей способности. При принятии для приготовления асфальтовяжущего вещества минеральных порошков полного гранулометрического состава возможна погрешность в определении структурирующей способности порядка 20 %. В то же время результаты структурирующей способности, определенные для порошков с размером частиц менее 0,08 мм и менее 0,071 мм, являются сопоставимыми, поскольку погрешность ее определения находится на уровне нормируемой погрешности метода определения температуры размягчения битума.

Влияние принятых в исследовании битумов (остаточных, характерных для европейской дорожной отрасли, и окисленных, применяемых в Украине) на структурирующую способность наиболее широко используемых в дорожной отрасли известняковых минеральных порошков незначительно, что, вероятно, объясняется близостью структурного типа вяжущего.

Активация минерального порошка не приводит к увеличению его усиливающей способности.

### Литература

1. Сахаров П.В. Дорожные строительные материалы / П.В. Сахаров. – М.: Гостранстехиздат, 1938. – 256 с.

2. Печеный Б.Г. Оптимизация технологии приготовления асфальтобетонных смесей / Б.Г. Печеный, Е.А. Данильян // Дорожная техника, 2012. – С. 12–15.
3. Иноземцев С.С. Выбор минерального носителя наноразмерной добавки для асфальтобетона / С.С. Иноземцев, Е.В. Королев // Вестник МГСУ. – 2014. – № 3. С. 158–167.
4. Радовский Б.С. Современные требования к каменным материалам для асфальтобетонных смесей в США / Б.С. Радовский // Дорожная техника. – 2009. – С. 74–85.
5. Richard Taylor Surface interactions between bitumen and mineral fillers and their effects on the rheology of bitumen-filler mastics / Richard Taylor. – Nottingham: The University of Nottingham, 2007. – 238 p.
6. Волков М.И. Исследование минеральных порошков для асфальтовых смесей / М.И. Волков, И.М. Борщ // Труды ХАДИ. – 1956. – Вып. 18. – С. 73–83.
7. Clifford Richardson The Modern Asphalt Pavement / Clifford Richardson. – New York: J. Wiley and Sons, 1907. – 616 p.
8. EN 13179-1:2000 «Tests for filler aggregate used in bituminous mixture. Part 1: Delta ring and ball test». – CEN. Brussels. – 2000. – 8 p.
9. Худякова Т.С. Адгезионные свойства нефтяных битумов и способы их корректировки / Т.С. Худякова, Д.А. Розенталь, И.А. Машкова. – М.: ЦНИИТ-Энефтехим, 1991. – 19 с.
10. Золотарев В.А. Долговечность дорожных асфальтобетонов / В.А. Золотарев. – Х.: Высшая школа, 1977. – 116 с.
11. Борщ И.М. Лёсс как минеральный порошок для асфальтового бетона: автореф. дис. на соискание учен. степ. канд. техн. наук / И.М. Борщ; - Х.: ХАДИ, 1952. – 17 с.

Рецензент: В.А. Золотарев, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 23 октября 2014 г.