

Таблица 1. Объекты и их размерности – точная, получаемая из теории и расчетная, получаемая как итог применения метода box counting.

№	Описание	Размерность	Оценка размерности	Ошибка
1	Бесконечные тонкая линия и тонкая плоскость	1 и 2	1	$10^{-16}$
2	Дорога на карте	1	0,972545571 – 0,979672	0,006 или 0,03
3	Изображения облаков	2	1.484094 – 1.522049	0,04 или 0,5

#### Литература

1. Minkowski– Bouligand dimension [Электронный ресурс] // Википедия, 2022. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Minkowski-Bouligand\\_dimension](https://en.wikipedia.org/wiki/Minkowski-Bouligand_dimension) (access date: 07.07.2022). – Access mode: free.
2. List of fractals by Hausdorff dimension [Электронный ресурс] // Статья в википедии, 2022. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_fractals\\_by\\_Hausdorff\\_dimension](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_fractals_by_Hausdorff_dimension) (access date: 07.07.2022). – Access mode: free.
3. Box counting [Электронный ресурс] // Статья в википедии, 2022. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Box\\_counting](https://en.wikipedia.org/wiki/Box_counting) (access date: 07.07.2022). – Access mode: free.
4. Степин П.А. Сопротивление материалов: учебник для немашиностроительных вузов: Москва : Высшая школа, 1988. – 367 с..
5. Электронные карты Яндекс [Электронный ресурс] // Яндекс Карты, 2022. URL : <https://yandex.ru/maps> (access date: 07.07.2022). – Access mode: free.

УДК 625.855.3

## ОПТИЧЕСКИ-МИКРОСКОПИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МИНЕРАЛЬНОГО ПОРОШКА ИЗ СЛАНЦЕВЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

И. С. Садиков, А. М. Карабаев, Ш. Ч. Буриев  
Ташкентский государственный транспортный университет,  
ул. Адылходжаева, 1, 100067, г. Ташкент, Узбекистан, ab.karabayev@gmail.com

В статье приводятся результаты исследований асфальтобетонной смеси на основе минерального порошка из сланцевых горных пород. Приведен оптически-микроскопический анализ минерального порошка. Выявлены преимущества этих порошков: - размеры частиц минерального порошка, полученного из сланцевой породы, расположены в близкой последовательности. Преимущество этого в том, что он позволяет почти полностью занять ту часть, которую необходимо заполнить между крупными и мелкими заполнителями в смеси: - минеральный порошок, полученный из сланцевых пород по сравнению с минеральным порошком известняка и ацикрета, кубической формой частиц и наличием очень малого количества игольчатых частиц. Даны количества в процентном отношении отдельных фракций частиц порошка. Указаны содержание частиц кубической, игольчатой и листовидной формы. Проведен анализ на влияния различных минеральных порошков на свойства асфальтобетонных смесей.

**Ключевые слова:** асфальтобетонная смесь, минеральный порошок, сланцевая порода, известняк, химический анализ.

Термин «минеральный наполнитель» обычно относится к мелким минеральным частицам, которые проходят через стандартное сито 200 (75 микрон). Применение минерального порошка в горячих плотных асфальтобетонных смесях призвано улучшить вяжущие свойства за счет уменьшения содержания вяжущего. [1]. Они, прежде всего действует в составе минерального инертного материала, заполняя промежутки между крупными и мелкими наполнителями в смесях, тем самым обеспечивая прочность асфальтобетонных покрытий, во-вторых; при смешивании со вяжущим минеральный порошок образует мастику [2].

Состав наполнителя, площадь поверхности и впитывающая способность поверхности влияют на оптимальный состав связующего в смеси. Существующие методика расчета асфальтобетонных смесей не имеют общих ограничений для отношения массы порошка к массе вяжущего. По опыту Словакии оптимальное соотношение вяжущего на единицу массы порошковой массы составляет от 1,5 до 1,75. Высокая масса порошкообразного вещества в смеси улучшает сцепление и внутреннюю стабильность смеси, повышает модуль асфальтобетона. Но минеральный порошок может повысить твердость битума, а это влияет на удобоукладываемость смеси. С другой стороны, низкое содержание порошка и высокое содержание битумного вяжущего могут увеличить подверженность смеси трещинообразованию [3].

Соответствующий минеральный порошок получают из природных известняковых и доломитовых пород. Помимо физико-механических свойств смеси, это также положительно влияет на композиционный эффект между битумом и инертным материалом. Наполнители имеют разные параметры градации, геометрические характеристики, удельную поверхность, структуру поверхности; состава воздушных пустот и других физико-механических свойств. Сделан вывод о том, что добавление гашеной извести в порошок увеличивает количество мелкодисперсных частиц, удельную поверхность [3,4].

Смешивание различных порошковых материалов для замены минерального порошка для улучшения характеристик асфальтобетонных смесей широко распространено во всем мире [5-6].

Использование минеральных порошков, полученных из сланцевых пород, в качестве минерального порошка в горячих асфальтобетонных смесях для устройства дорожных покрытий, увеличивает среднюю плотность асфальтобетонного покрытия, повышает его водопроницаемость, водостойкость, активность вяжущего, улучшает ее вязкость по отношению к минеральной части смеси, повышает прочность смеси [7].

В работах [8,9] показаны результаты исследований свойств.

Испытания минерального порошка, полученного из сланцевых пород, проводились в лабораторных условиях, согласно ГОСТ 16557-2005 «Порошок минеральный для асфальтобетонных и органоминеральных смесей». Результаты испытаний представлены в таблице 1.

Большое влияние на качество и долговечность асфальтобетонных смесей оказывают степень измельчения минеральных порошков и форма их частиц. Поэтому минеральные порошки известнякового материала и минеральные порошки ацикритового материала, были проанализированы под микроскопом (рис.1.).

Оптически-микроскопическим анализом установлено, что минеральный порошок, полученный из сланцевых пород, состоит из частиц следующих размеров:

- L1- 67 мкм - 0,9 %;
- L2- 44,1 мкм - 1,78 %;
- L3- 17,0 мкм - 5,35 %;
- L4 – 27,5 мкм – 3,57 %;
- L5 – 21,0 мкм – 6,25 %;
- L6 - от 5,0 до 0,8 мкм - 71,42 %;
- L7- 12,0 мкм - 10,73 %.

Эти минеральные порошки на 96,35 % состоят из частиц кубической формы и на 3,65 % игольчатой и листовидной формы.

Таблица 1. Свойств минерального порошка из слонцевых горных пород

№	Имена указателей	Единица измерения	Значение показателей		
			Стандартное значение	Среднее значение	Совместимость с НД
1	Естественная влажность	%	0-1,0	0,8	-
2	Зерновой состав, мм	1,25	не менее 100	99,6	соот.
		0,315	не менее 90	91,7	соот.
		0,071	не менее 80	81,2	соот.
3	Плотность	г/см <sup>3</sup>	не модерируется	2,6	-
4	Пористость, не менее	%	30	28,9	соот.
5	Размножение образца битумной смеси с минеральным порошком		1,8	1,6	соот.

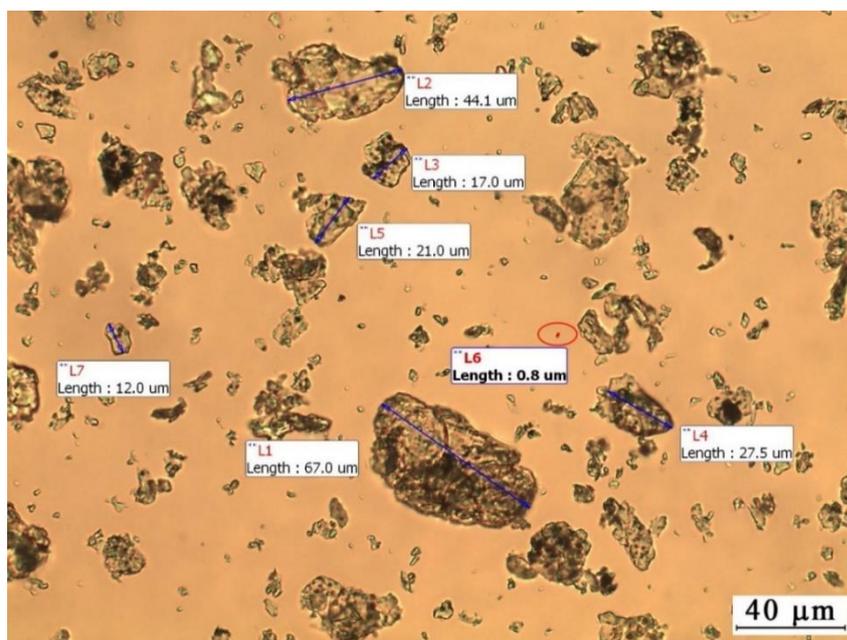


Рис. 1. Внешний вид минерального порошка, полученного из сланцевых пород, в оптическом микроскопе Motic VA 210.

Оптически-микроскопическим анализом установлено, что минеральный порошок, полученный из известняка (рис.2), состоит из частиц следующих размеров:

- L1- 70 мкм – 0,4%;
- L2, L4- 40,0 мкм - 1,19%;
- L3- 30,0 мкм - 1,6%;
- L5, L7 – 21,0 мкм – 2,39 %;
- L6 – 22,4 мкм – 2,39 %;
- L8- 34,5 мкм - 1,19%;
- L9- от 9 до 20, мкм - 11,16%;
- L10- от 0,8 до 9, мкм - 79,68%.

Из рисунка видна, что 6,72 % этого минерального порошка состоит из частиц игольчатой и листовидной формы. Иглы в основном встречаются в частицах размером 30-70 мкм.

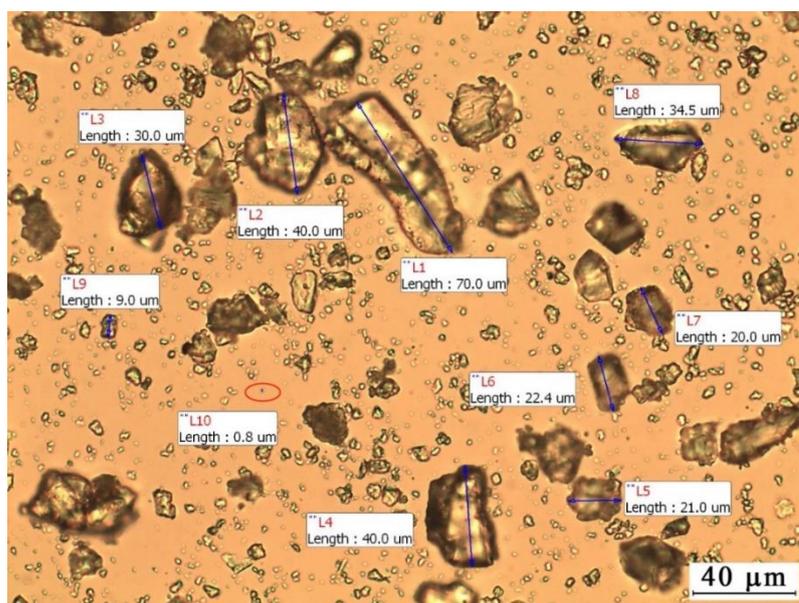


Рис. 2. Внешний вид минерального порошка, полученного из известнякового материала, в оптическом микроскопе Motic VA 210

В рис. 3 показан внешний вид ацикретного материала под микроскопом.

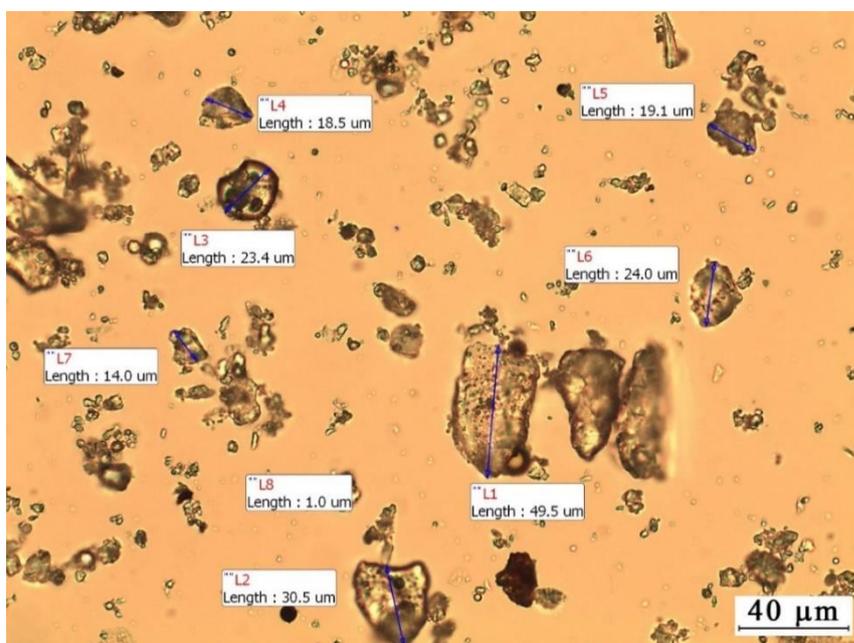


Рис. 3. Внешний вид частиц минерального порошка, полученного из ацикретного материала, в оптическом микроскопе Motic VA 210

- L1- 49,5 мкм – 3,27%;
- L2, - 30,5 мкм - 1,63%;
- L3, L6- от 23,4 до 24,0 мкм - 3,27%;
- L4, L5 – от 18,5 до 19,1 мкм – 3,27 %;
- L7 – от 14,0 до 18,5 мкм – 6,60 %;
- L8- от 1,0 до 14,0 мкм - 81,96%.

7,12% этого минерального порошка состоят из игольчатых и листовидных частиц. Хвойные породы встречаются в основном в диапазоне размеров частиц от 45 до 45 микрон и 1-14 микрон.

По результатам приведенного выше оптического анализа трех видов минеральных порошков между собой был сделан следующий вывод:

- размеры частиц минерального порошка, полученного из сланцевой породы, расположены в близкой последовательности. Преимущество этого в том, что он позволяет почти полностью занять ту часть, которую необходимо заполнить между крупными и мелкими заполнителями в смеси.

- минеральный порошок, полученный из сланцевых пород по сравнению с минеральным порошком известняка и азцикрета кубической формой частиц и наличием очень малого количества игольчатых частиц.

#### Литература

1. Al-Sayed, M.H., "The Effect funeral filler performance of tolled Asphaltic Mixes", Ph.D. Thesis, University of Leeds, 1988.

2. Xarris BM va Stuart KD, "Tosh matritsali asfaltda ishlatiladigan mineral kukun moddalari va mastikalar tahlili", J. Dots. Asfalt yotqizish texnologiyasi. , 1995 yil.

3. Remišová E. 2013. Navrhovanie asfaltových zmesí pre netuhé vozovky, theses, University of Zilina.

4. Grabowski, W. and Wilanowicz, J. 2011. The specific surface of mineral fillers and their functional properties, 5th International Conference Bituminous Mixtures and Pavements Thessaloniki, Greece, 1–3 June 2011, ISBN 978-960-99922-0-6. pp. 246–255.

5. Wasilewska, M.; Małaszkiwicz, D.; Ignatiuk, N. Evaluation of different mineral filler aggregates for asphalt mixtures. In Proceedings of the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Prague, Czech Republic, 12–16 June 2017; IOP Publishing: Bristol, UK, 2017; Volume 245.

6. Modarres, A.; Ramyar, H.; Ayar, P. Effect of cement kiln dust on the low-temperature durability and fatigue life of hot mix asphalt. Cold Reg. Sci. Technol. 2015, 110, 59–66.

7. Содиқов И.С. ва Ш.Буриев “Сланецли минерал куқунларнинг асфальтобетон қоришмалари мустақкамлигига таъсири”. ТАЙЛҚЕИ. 2019 й.

8. Содиқов И.С. ва Ш.Буриев “Investigation of the effect of shale mineral powder on the physical and mechanical properties of asphalt concrete” Harward educational and scientific Review 2021-35-45 p.

УДК 625.074

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СЛАНЦЕВЫХ ПОРОД КАРЬЕРА “УЗБЕКИСТАН”

И.С. Садиков, А. М. Карабаев

Ташкентский государственный транспортный университет,  
ул. Адылходжаева, 1, 100067, г. Ташкент, Узбекистан, ab.karabayev@gmail.com

В статье показывается важность роли минерального порошка в составе асфальтобетонной смеси. Даны значения удельной поверхности щебня, песка, минерального порошка и суммарная поверхность каменных материалов. Предложена замена традиционно применяемого известнякового порошка на порошки из сланцевых горных пород. Изучены химический состав, физико-механические и технологические свойства предлагаемого минерального порошка карьера “Узбекистан” Республики Каракалпакстан. В химическом составе сланцевой породы преобладают оксид кремния, оксид алюминия и оксид кальция. Установлено возможность получения сланцев блоков,