

Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <https://naukovedenie.ru/>

Том 9, №5 (2017) <https://naukovedenie.ru/vol9-5.php>

URL статьи: <https://naukovedenie.ru/PDF/48TVN517.pdf>

Статья опубликована 18.10.2017

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Копылов В.Е., Буренина О.Н., Павлова Е.А. Активация минеральных порошков, как способ улучшения физико-механических характеристик асфальтовых бетонов // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №5 (2017) <https://naukovedenie.ru/PDF/48TVN517.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

*Грант Главы Республики Саха (Якутия) для молодых ученых, специалистов и студентов*

**УДК 691.168**

**Копылов Виктор Евгеньевич**

ФГБУН «Институт проблем нефти и газа СО РАН», Россия, Якутск<sup>1</sup>  
Старший научный сотрудник  
Кандидат технических наук  
E-mail: kopvic@gmail.com  
РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=671476](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=671476)

**Буренина Ольга Николаевна**

ФГБУН «Институт проблем нефти и газа СО РАН», Россия, Якутск  
Заведующий лабораторией  
Кандидат технических наук  
E-mail: bon.ipng@mail.ru  
РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=545851](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=545851)

**Павлова Елизавета Андреевна**

ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», Россия, Якутск  
Магистрант  
E-mail: lizakynnej@mail.ru  
РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=943341](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=943341)

**Активация минеральных порошков,  
как способ улучшения физико-механических  
характеристик асфальтовых бетонов**

**Аннотация.** Физические методы активации минеральных материалов являются эффективными технологическими приемами, позволяющими не только повысить их дисперсность и поверхностную энергию, но и значительно улучшить физико-механические свойства изготовленных с их использованием композиционных материалов. В последнее время, активационные технологии повсеместно применяются в строительной области, в том числе, и в дорожном строительстве.

Асфальтобетон – композиционный материал, состоящий из щебня, песка, минерального порошка и битума. Причем роль вяжущего в асфальтобетоне играет не отдельно взятый битум, а асфальтовяжущее вещество – смесь битума и минерального порошка, где минеральный порошок, выполняет основную структурообразующую роль. Поэтому, направленная активация

---

<sup>1</sup> 677980, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, ул. Октябрьская, д. 1

поверхности минерального порошка позволит улучшить свойства конечного строительного конгломерата – асфальтобетона.

В статье представлены данные, полученные в ходе исследований влияния механоактивации на структурирующую способность минеральных порошков по отношению к битуму. Получены количественные характеристики удельной геометрической поверхности зерен минеральных порошков до и после механоактивации в планетарной шаровой мельнице. Выполнен анализ микрошероховатости поверхности полученных асфальтовых вяжущих веществ и ее влияние на характеристики сдвигоустойчивости асфальтовых бетонов. Получены данные об устойчивости асфальтобетонов к атмосферной коррозии.

**Ключевые слова:** асфальтобетон; минеральный порошок; асфальтовое вяжущее вещество; битум; механоактивация; удельная поверхность; микрошероховатость; сдвигоустойчивость; атмосферная коррозия

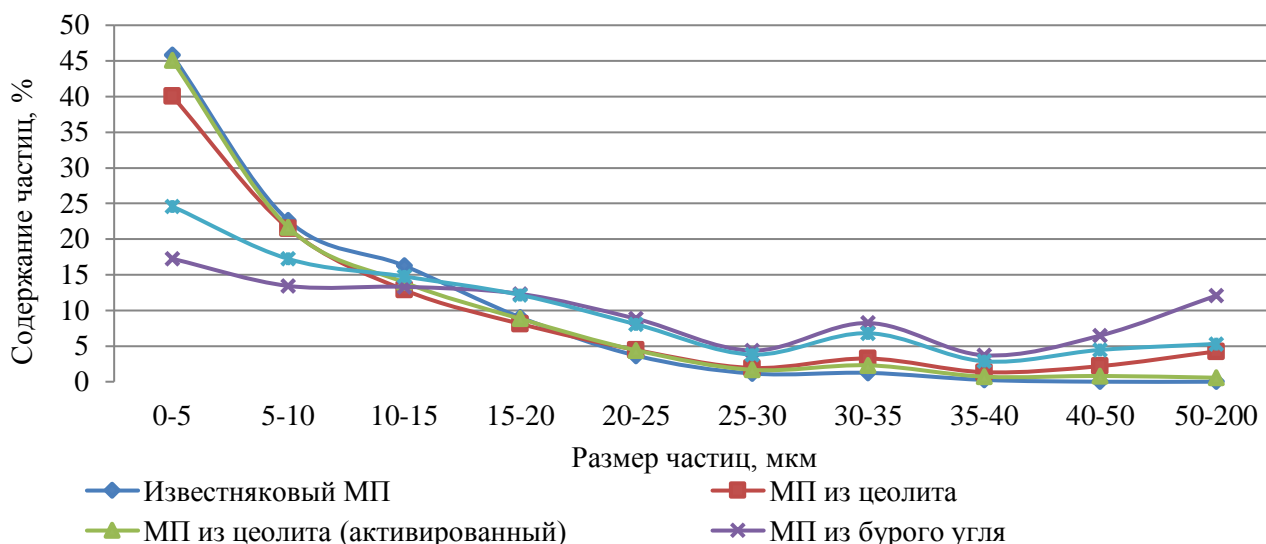
Минеральный порошок представляет собой полидисперсный материал, который при взаимодействии с вяжущим (битумом) образует основной структурный элемент асфальтобетона – асфальтовяжущее вещество. Асфальтовое вяжущее вещество представляет собой бинарную систему, в которой роль дисперсной среды играет битум, а дисперсной фазы – минеральный порошок. В составе асфальтобетона асфальтовяжущее вещество играет роль вяжущего и оказывает значительное влияние на его физико-механические характеристики [8-11].

Известно, что наилучшими являются минеральные порошки, полученные тонким помолом известняковых горных пород, однако, их ограниченное распространение, вызывает необходимость поиска альтернативных материалов. На территории Республики Саха (Якутия) подобной альтернативой могут стать минеральные порошки, полученные из природных цеолитов и бурых углей [6].

Физико-механические и реологические характеристики асфальтового вяжущего вещества зависят от качества битума и минерального порошка (в том числе их соотношения), однако, решающее влияние на них оказывают процессы, происходящие на поверхности зерен минерального порошка при взаимодействии его с битумом. Именно поэтому важно усилить адгезионное взаимодействие на границе раздела фаз «битум – минеральный порошок» [8, 11].

Применение различного измельчительного оборудования позволяет получать высокодисперсные наполнители. В процессе размолла минеральных материалов происходит рост свежобразованных поверхностей, которые обладают высоким энергетическим потенциалом, способным улучшить взаимодействие на границе раздела фаз [1, 7]. Для улучшения структурирующих свойств минеральные порошки были подвергнуты механоактивации в планетарной мельнице АГО-2.

Энергетическая и адсорбционная способность минеральных порошков повышается с увеличением их дисперсности. Однако, минеральные порошки должны обладать некоторым оптимальным показателем дисперсности, для того, чтобы не повышать расход битума в асфальтобетонной смеси [4, 8]. Для получения полной картины дисперсности изучаемых минеральных порошков исследование их гранулометрического состава до и после механической активации проводили методом лазерной дифракции на установке FritschParticleSizer «Analysette 22».



**Рисунок 1.** Распределение частиц минеральных порошков по размерам (составлено автором)

Установлено, что для всех графиков распределения частиц минеральных порошков по размерам характерен один максимум – частицы с размером до 5 мкм (рисунок 1). В результате механоактивации происходит рост этого максимума, так как частицы подвергаются измельчению. Так, например, при активации цеолита происходит увеличение количества частиц размером до 5 мкм на 10 %, а при активации бурого угля этот показатель увеличивается на 42 % по сравнению с минеральными порошками в диспергированном состоянии.

С увеличением показателя дисперсности происходит и увеличение удельной поверхности минеральных порошков. Учитывая, что структурообразование асфальтовяжущего вещества происходит именно при контакте зерен минерального порошка с битумом, то увеличение контактной поверхности приведет к повышению структурирующей способности минерального порошка. Удельная геометрическая поверхность минеральных порошков была измерена при помощи прибора ПСХ-11М. Полученные данные (таблица 1) свидетельствуют о том, что у порошков, поверхность которых была подвергнута механоактивации, вместе с увеличением дисперсности, также происходит увеличение удельной геометрической поверхности. Причем, ввиду особенностей внутреннего строения, показатель удельной поверхности цеолитов значительно превосходит этот же показатель, как у известнякового минерального порошка, так и у минерального порошка из бурого угля. Высокий показатель удельной геометрической поверхности минеральных порошков будет способствовать усилению адсорбционных свойств и увеличению адгезионного воздействия на границе раздела фаз «вяжущее-минеральный порошок» и, как следствие, улучшению характеристик асфальтовяжущих веществ и асфальтобетонов на их основе.

**Таблица 1**  
**Удельная поверхность минеральных порошков (составлено автором)**

Наименование и состояние минерального порошка (МП)	Удельная геометрическая поверхность, см <sup>2</sup> /г
Известняковый МП	Исходный 4680,0
МП из природного цеолита	Исходный 11656,7
	Активированный 14835,2
МП из бурого угля	Исходный 1252,7
	Активированный 2167,0

Для последующих исследований были подобраны составы асфальтовых вяжущих веществ для каждого минерального порошка и изучены их физико-механические характеристики [5].

Для изучения микрорельефа асфальтовяжущих был применен метод атомно-силовой микроскопии. Результаты измерений представлены в таблице 2. Установлена прямая зависимость между максимальной высотой пиков и впадин, характеризующих поверхность и средней арифметической шероховатостью. Например, у образца асфальтовяжущего вещества с применением диспергированного бурого угля зафиксирована максимальная высота пика среди остальных образцов, равная 6795,98 нм, при наибольшей среди всех образцов средней арифметической шероховатостью поверхности равной 1313,41 нм. Высокое значение показателя средней арифметической шероховатости поверхности асфальтовяжущих веществ должно положительно повлиять на повышении сдвиговых характеристик асфальтобетонов.

Полученные результаты подтверждаются данными, полученными в ходе изучения дисперсности минеральных порошков (рисунок 1). Минеральные порошки с меньшим размером частиц характеризуются менее развитым микрорельефом поверхности асфальтовяжущих, полученных с их применением. Это также доказывает наличие у каждого минерального порошка некоторой оптимальной удельной поверхности, при достижении которой, дальнейший помол не имеет смысла, так как влечет за собой увеличение необходимого количества битума, а также снижение прочностных характеристик асфальтобетонов [2].

**Таблица 2**

**Характеристики рельефа поверхности асфальтовых вяжущих веществ (составлено автором)**

		Максимальный пик, нм	10 точек по высоте, нм	Средняя арифметическая шероховатость поверхности, нм
Асфальтовяжущее с известняковым МП		3947,44	1970,13	476,225
Асфальтовяжущее с МП из природного цеолита	И	6115,4	2895,97	735,671
	МА	4563,94	2253,01	508,057
Асфальтовяжущее с МП из бурого угля	И	6795,98	3397,99	1313,41
	МА	5897,63	2933,13	1223,24
<i>И – диспергированный, МА – механоактивированный</i>				

Отличительной особенностью минеральных порошков, подвергнутых активации, является меньшая средняя арифметическая шероховатость поверхности. Прежде всего это связано с уменьшением размеров частиц минеральных порошков в процессе механоактивации.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что предлагаемые минеральные порошки из природного цеолита и бурого угля будут обладать достаточной структурирующей способностью по отношению к битуму. Они обладают улучшенными текстурными характеристиками, а асфальтовяжущие, с предлагаемыми порошками в своем составе обладают улучшенным рельефом поверхности. Высокий показатель средней арифметической шероховатости поверхности асфальтовяжущих должен положительно сказаться на одной из важнейших характеристик асфальтобетонов – сдвигоустойчивости.

**Таблица 3**

**Сдвигоустойчивость асфальтобетонных образцов (составлено автором)**

Наименование	Минеральный порошок				
	известняковый	из природного цеолита	из природного цеолита (МА)	из бурого угля	из бурого угля (МА)
Сдвигоустойчивость по коэффициенту внутреннего трения	0,81	0,91	0,95	0,87	0,84

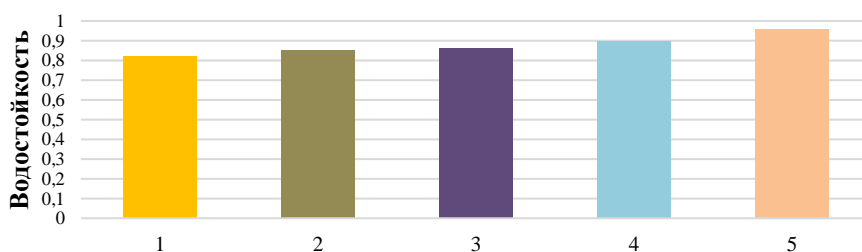
В таблице 3 представлены характеристики сдвигоустойчивости асфальтобетонных образцов. Из данных, представленных в таблицах 2 и 3, следует, что у асфальтобетонов на

основе асфальтовяжущих с высоким показателем микрошероховатости поверхности значения сдвигоустойчивости также выше. К примеру, сдвигоустойчивость асфальтобетона на основе асфальтовяжущего с цеолитом в своем составе выше аналогичного показателя у традиционного состава асфальтобетона в 1,2 раза. Однако, стоит отметить, что данный показатель также зависит и от прочности исходной горной породы для производства минерального порошка. Так, например, несмотря на большее значение шероховатости поверхности асфальтовяжущего на основе бурого угля по сравнению с поверхностью асфальтовяжущего на основе цеолита, сдвигоустойчивость асфальтобетонов с бурым углем в качестве минерального порошка ниже, ввиду меньшей прочности бурого угля по сравнению с цеолитом.

Таким образом, прочностные характеристики асфальтобетонов зависят не только от прочностных характеристик каменных материалов, входящих в их состав и правильности подбора состава, но и от качества асфальтовяжущего – его прочности, рельефа поверхности и т. д.

Стоит отметить, что прочность асфальтобетона не единственная характеристика, которая влияет на долговечность покрытий автомобильных дорог. Одной из причин выхода асфальтобетонных покрытий из строя раньше расчетного срока является их низкая устойчивость к атмосферной коррозии. Наиболее сложным, с точки зрения природно-климатических явлений, является осеннее-весенний период – т. е. то время, когда на покрытие в большом количестве воздействует вода (осадки, талые воды и др.), а также суточные изменения температуры окружающей среды с переходом через 0 °С [3]. Поэтому, к показателям, которые могут характеризовать асфальтобетоны с точки зрения устойчивости к атмосферной коррозии, можно отнести водостойкости при длительном водонасыщении и морозостокость.

При длительном воздействии воды на асфальтобетон, она начинает скапливаться в порах материала. Это приводит к ослаблению структурных связей на границе раздела фаз «вяжущее – минеральный наполнитель», потому как под воздействием воды наблюдается отслаивание битумных пленок от поверхности щебня, песка и минерального порошка. На покрытии начинают проявляться дефекты – трещины, выбоины и т. д.



**Рисунок 2.** Водостойкость асфальтобетонных образцов после 15 суток водонасыщения  
1 – Асфальтобетон с известняковым МП; 2 – Асфальтобетон с МП из природного цеолита; 3 – Асфальтобетон с МП из природного цеолита (МА); 4 – Асфальтобетон с МП из бурого угля; 5 – Асфальтобетон с МП из бурого угля (МА) (составлено автором)

Данные, полученные в ходе испытаний образцов асфальтобетона на длительное водонасыщение (рисунок 2), свидетельствуют о том, что механоактивация положительно влияет на улучшение структурирующей способности минеральных порошков. Минеральные порошки, подвергнутые механоактивации характеризуются более высокими показателями водостойкости, что говорит о более сильных силах адгезии на границе раздела фаз «вяжущее – минеральный наполнитель».

В результате испытаний образцов асфальтобетонов на морозостойкость (50 циклов) получены данные, представленные в таблице 4. Асфальтобетонные образцы с предлагаемыми минеральными порошками из местного сырья обладают улучшенными характеристиками

морозостойкости по сравнению с контрольным составом асфальтобетона. Так, например, потеря прочности при сжатии асфальтобетонных образцов с цеолитом в среднем составила 28 %, с бурым углем – 15 %, контрольный образец – 36 %.

**Таблица 4**

**Морозостойкость асфальтобетонных образцов (составлено автором)**

Наименование состава	Потеря прочности после 50-ти циклов замораживания-оттаивания, %
Асфальтобетон с известняковым МП	36
Асфальтобетон с МП из природного цеолита	26,24
Асфальтобетон с МП из природного цеолита (МА)	29,81
Асфальтобетон с МП из бурого угля	13,75
Асфальтобетон с МП из бурого угля (МА)	16,26

Таким образом, в ходе исследований было доказано, что направленное улучшение физико-механических и текстурных характеристик асфальтовяжущих веществ позволит улучшить прочность асфальтобетонов и долговечность асфальтобетонных покрытий.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Болдырев В. В. Фундаментальные основы механической активации, механосинтеза и механохимических технологий / В. В. Болдырев, Е. Г. Аввакумов и др. // Ин-т химии твердого тела и механохимии СО РАН. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2009. – 343 с.
2. Борисенко, О. А. Влияние дисперсности и удельной поверхности минерального порошка на формирование структуры и физико-механических свойств асфальтобетонов / О. А. Борисенко, Ю. Г. Борисенко // сб. науч. тр. СевКавГТУ. Серия "Естественнонаучная" / Северо-Кавказский гос. тех. ун-т.- Ставрополь, 2004. – Вып. 7. – с. 104-106.
3. Гезенцевей, Л. Б. Асфальтовый бетон из активированных минеральных материалов / Л. Б. Гезенцевей – М.: Стройиздат. – 1971. – 256 с.
4. Горельшев, Н. В. Асфальтобетон и другие битумоминеральные материалы / Н. В. Горельшев – М.: Можайск – Терра, 1995. – 176 с.
5. Копылов В. Е. Минеральное сырье Республики Саха (Якутия) для производства асфальтобетонов / В. Е. Копылов, О. Н. Буренина // Интернет-журнал «Наукоедение», 2016. – Т 8 – №1. Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/47TVN116.pdf>.
6. Копылов В. Е. Минеральные порошки из местного сырья для производства асфальтобетонов / В. Е. Копылов, О. Н. Буренина // Сборник докладов конференции «Материалы для технических устройств и конструкций, применяемых в Арктике, ФГУП ВИАМ, Москва. – 2015 г. – с. 27.
7. Охлопкова, А. А. Модификация полимеров ультрадисперсными соединениями / А. А. Охлопкова, О. А. Адрианова, С. Н. Попов // Якутск: ЯФ Изд-во СО РАН, 2003. – 224 с.
8. Рыбьев, И. А. Асфальтовые бетоны. Учеб. пособие для строительных ВУЗов / И. А. Рыбьев. – М., «Высшая школа», 1969. – 399 с.
9. Рыбьев, И. А. Строительное материаловедение: Учеб. пособие для строит. спец. вузов / И. А. Рыбьев. – 3-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2008. – 701 с.
10. Сахаров П. В. Способы проектирования асфальтобетонных смесей / П. В. Сахаров // Транспорт и дороги города. – 1935. – №12. – С. 22-26.
11. Ядыкина В. В. Свойства системы битум-известьесодержащий минеральный порошок / В. В. Ядыкина // Журнал прикладной химии, 2004. – т. 77. – вып. 3 – с. 507-510.

**Kopylov Victor Evgenevich**

Institute of oil and gas problems of Siberian branch Russian academy of sciences, Russia, Yakutsk  
E-mail: kopvic@gmail.com

**Burenina Olga Nikolaevna**

Institute of oil and gas problems of Siberian branch Russian academy of sciences, Russia, Yakutsk  
E-mail: bon.ipng@mail.ru

**Pavlova Elizaveta Andreevna**

M.K. Ammosov North-Eastern federal university, Russia, Yakutsk  
E-mail: lizakynnej@mail.ru

## **Activation of mineral powders as a way to improve the physical and mechanical characteristics of asphalt concretes**

**Abstract.** The physical methods for the activation of mineral materials are the effective technological methods that not only increase their dispersion and surface energy, but also significantly improve the physical and mechanical properties of composite materials manufactured with their use. In more recent times, the activation technologies are widely used in the construction industry, including in the road making.

Asphalt concrete is a composite material consisting of broken stone, sand, mineral powder and bitumen. Whereby the role of binding material in the asphalt concrete is played not by a single bitumen, but by an asphalt-binding substance – a mixture of bitumen and mineral powder, where the mineral powder fulfills the basic templating role. Therefore, the directional activation of the mineral powder surface will improve the properties of the final building conglomerate – asphalt concrete.

The article presents the data obtained in the course of investigations of the influence of mechanoactivation on the structuring ability of mineral powders with respect to bitumen. The authors obtained the quantitative characteristics of the specific geometric surface of the mineral powder grains before and after mechanoactivation in a planetary ball mill. The analysis of the surface microroughness of the obtained asphalt binders and its effect on the shear resistance of asphalt concretes was performed. Data on the asphalt-concrete resistance to atmospheric corrosion were obtained.

**Keywords:** asphalt concrete; mineral powder; asphalt binding material; bitumen; mechanoactivation; specific surface; microroughness; shear resistance; atmospheric corrosion