

УДК 691.31 : 666.964.3

Т.С. ХИМИЧ, С.А. МАТВЕЕВ, Г.М. КАДИСОВ, В.А. УТКИН

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНОГО ОТХОДА КЕРАМИЧЕСКОЙ ПЫЛИ В КАЧЕСТВЕ ЗАПОЛНИТЕЛЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ АСФАЛЬТОБЕТОНА**

Рассмотрено использование промышленного отхода – керамической пыли при производстве асфальтобетона. Проведена сравнительная оценка характеристик пыли керамической и строительного песка. Выполнен анализ физико-механических характеристик асфальтобетонной смеси с различным содержанием керамической пыли (10, 30, 50 %) от количества входящего в состав смеси строительного песка. Проведены испытания образцов из данной смеси в сертифицированной строительной лаборатории. Показано, что использование пыли керамической в составе асфальтобетонной смеси в качестве заполнителя существенно не меняет ни структуру, ни физико-механические свойства последней. Доказана возможность использования в строительной практике асфальтобетонной смеси, в которой 50 % песка заменено на отход.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** керамическая пыль, отход производства, вторичное сырье, асфальтобетонная смесь.

DOI 10.32683/0536-1052-2019-725-5-62-70

Проблема утилизации отходов производства является одной из актуальных проблем современного мира. Стратегия устойчивого развития Российской Федерации провозглашает улучшение качества природной среды, стабилизацию и восстановление естественных экосистем, внедрение эколого-ориентированных систем производства. Особое внимание уделяется утилизации и качественной переработке твердых отходов.

Федеральный закон от 24.06.1998 г. N 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» определяет правовые основы обращения с отходами в целях предотвращения вредного воздействия отходов на здоровье человека и окружающую среду, а также вовлечение отходов в хозяйственный оборот в качестве дополнительных источников сырья.

Политика России в сфере управления отходами ориентирована на снижение количества образующихся отходов и на развитие методов их максимального использования. Использование отходов во вторичном обороте промышленных производств позволит создавать новые эколого-ориентированные технологии производства, рационально использовать исчерпаемые природные ресурсы и создавать новые преимущества для выпуска продукции.

Термин «рециклинг отходов» (англ. Recycling) означает возвращение в оборот, повторное использование материалов и изделий. Капитальные и эксплуатационные затраты по рециклингу отходов не превышают, а в ряде случаев даже ниже затрат на их уничтожение. Положительной стороной рециклинга является также и то, что получается дополнительное количество полезных продуктов для различных отраслей народного хозяйства и не про-

© Химич Т.С., Матвеев С.А., Кадисов Г.М., Уткин В.А., 2019

исходит повторного загрязнения окружающей среды. По этим причинам рециклинг является не только экономически целесообразным, но и экологически предпочтительным решением проблемы использования отходов [1].

Целями развития рынка вторичных ресурсов являются формирование и поддержание устойчивого спроса потребителей вторичных материальных ресурсов и обеспечение стабильной реализации их предложения поставщиками. Качество вторичного сырья ниже качества аналогичного первичного сырья, что, соответственно, оказывает воздействие и на качество продукции, выпускаемой из вторичного сырья или с его использованием [2].

Это позволило многим странам уже к середине 1980-х гг. достичь значительных успехов в деле переработки основных видов отходов. Именно в это время концепция использования вторичных ресурсов получила широкое распространение за рубежом [3].

Существенной особенностью асфальтобетона является зависимость его физико-химических свойств от структуры, которая согласно современным представлениям определяется количеством и качеством зернистых материальных составляющих, взаимным расположением зерен и характером связи между ними. Поэтому внедрение промышленных отходов, обладающих определенными качествами, в состав асфальтобетонных смесей может позволить добиться не только экологической значимости и экономической выгоды, но и улучшения физико-механических свойств асфальтобетона.

Перспективным направлением в решении задачи получения качественного асфальтобетона является применение пористых минеральных порошков, в том числе из отходов промышленности. Использование таких наполнителей может способствовать повышению тепло-, трещиностойкости и сдвигоустойчивости дорожного композита, а также снижению стоимости приготовления асфальтобетонной смеси и уменьшению экологического прессинга на окружающую среду [4].

Одним из эффективных направлений использования отходов промышленности при производстве асфальтобетона является применение шлаков [5–7], которое решает одновременно несколько современных проблем: улучшает условия охраны окружающей среды; повышает производительность работ и рациональное использование местных сырьевых ресурсов; снижает потребность в транспорте, в том числе железнодорожном.

В работе [8] рассмотрены вопросы использования промышленных отходов Красноярского края при изготовлении асфальтобетона. Показано, что отвальные хвосты нейтрализации могут быть использованы в качестве минерального порошка, а гранулированные шлаки в качестве мелкого заполнителя в составах асфальтобетона.

Побочным продуктом литейного производства является кварцевый песок, покрытый тонкой пленкой сгоревшего углерода. Наряду с этим отходом производства отходы, образующиеся в процессе добычи угля в виде крупнозернистой или мелкодисперсной фракций (угольной пыли), широко применяются в производстве дорожно-строительных материалов [9].

В работе [10] исследуется возможность использования трех промышленных отходов: обычной каменной пыли из мрамора и кварцита и золы-уноса в качестве наполнителя в битумосодержащих смесях. Данные виды отходов производятся в больших количествах в Индии. Среди трех промышленных

отходов мраморная пыль является наиболее экономичным наполнителем, так как смеси с мраморной пылью имеют наименьшее содержание связующего.

В работе [11] отмечено, что в последнее время в строительстве растет спрос на использование отходов промышленности в качестве замены стандартного заполнителя в битумных смесях. Это отходы стекольной, цементной промышленности, бетона, кирпича, керамики, это зола, шлак и другое сырье, которое можно использовать при производстве строительных материалов, снижая их негативное экологическое воздействие.

В данной работе изучена возможность применения пыли керамической в качестве заполнителя для асфальтобетонной смеси. Цель работы – оценка физико-механических характеристик асфальтобетонной смеси, в составе которой в качестве заполнителя использован отход производства – керамическая пыль.

Испытания пыли керамической проводились в лабораторных условиях по методикам, соответствующим действующим нормативно-техническим документам, основным из которых является ГОСТ 8735–88 «Песок для строительных работ. Методы испытаний».

По результатам испытаний было проведено сравнение характеристик строительного песка и пыли керамической, представленное в табл. 1.

Таблица 1. Свойства пыли керамической и строительного песка

Показатель	Значение показателя пыли керамической	Требования ГОСТ 8736–93 к песку мелкому II класса
Модуль крупности	1,96	От 1,5 до 2,0
Содержание зерен: Полный остаток на сите № 063 Менее 0,16 мм	33,1 12,8	От 10 до 30 в процентах по массе, не более 20
Содержание пылевидных частиц (% по массе)	0,5	В процентах по массе, не более 5

Полученные результаты испытаний пыли керамической соответствуют требованиям ГОСТ 8736–93 «Песок для строительных работ. Технические условия» к песку мелкому II класса. Небольшое превышение полного остатка на сите № 063 находится в допустимых пределах (не более 5 %).

Для исследования произведен подбор состава мелкозернистой горячей асфальтобетонной смеси типа Б марки II для плотного асфальтобетона, предназначенного для устройства верхнего слоя покрытия в III дорожно-климатической зоне, включающий: щебень известняковый фракции 5–20 мм (50 % смеси); песок строительный (15 % смеси); смесь щебеночно-песчаная (35 % смеси); битум нефтяной марки БНД90/130. Зерновые составы минеральных материалов подобраны в соответствии с требованиями нормативного документа ГОСТ 9128–2009 «Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия». Содержание битума в асфальтобетоне составляет 6,2 % от массы минеральной части. Такое количество битума является средним значением из рекомендуемых в ГОСТ 9128–2009 для всех дорожно-климатических зон.

Для исследования разработаны четыре состава асфальтобетонной смеси:

1) эталонная (чистая смесь) – смесь, не имеющая в составе отхода;

2–4) смеси соответственно с 10, 30 и 50%-ным содержанием керамической пыли от количества песка строительного, входящего в состав смеси.

Составы асфальтобетонной смеси представлены в табл. 2.

Таблица 2. Составы асфальтобетонной смеси типа Б марки П

Состав	Чистая смесь	Смесь с керамической пылью, %		
		10	30	50
Щебень известняковый, %	50	50	50	50
Смесь щебеночно-песчаная, %	35	35	35	35
Песок строительный, %	15	13,5	11,5	7,5
Керамическая пыль, %	–	1,5	4,5	7,5
Итого, %	100	100	100	100
Битум, % от массы	6,2	6,2	6,2	6,2

Для каждого вида смеси было изготовлено по 15 образцов цилиндрической формы, диаметром 71,4 мм и высотой, равной диаметру (см. рисунок).



Асфальтобетонные образцы

Изготовление образцов и их испытания проводились в сертифицированной лаборатории ГУ «Управления дорожного хозяйства Омской области». Все 60 образцов асфальтобетонных смесей были изготовлены и испытаны в соответствии с ГОСТ 12801–98 «Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний».

Для обоснования достоверности результатов экспериментальных исследований использовался аппарат математической статистики. Все полученные результаты были оценены по малой выборке, используя распределение Стьюдента или  $t$ -распределение.

Качество асфальтобетонной смеси оценивалось по следующим показателям (табл. 3):

- 1) средняя плотность уплотненного материала;
- 2) средняя плотность минеральной части (остова);

**Т а б л и ц а 3. Показатели физико-механических характеристик асфальтобетонных смесей**

Наименование показателя	Чистая смесь	Смесь с керамической пылью, %		
		10	30	50
Средняя плотность уплотненного материала, г/см <sup>3</sup>	2,38	2,37	2,39	2,38
Средняя плотность минеральной части, г/см <sup>3</sup>	2,24	2,23	2,25	2,24
Водонасыщение, %	2,7	1,7	2,2	3,7
Предел прочности при сжатии, при температуре 50 °С, МПа	1,1	1,1	1,3	1,4
Предел прочности при сжатии, при температуре 20 °С, МПа	3,7	3,4	3,7	3,8
Средняя работа при одноосном сжатии, Дж	26,7	24,2	33,1	26,7
Средняя работа при сжатии по схеме Маршалла, Дж	133,2	29,7	79,8	49,1
Коэффициент внутреннего трения	0,82	0,51	0,79	0,71
Сцепление при сдвиге, при температуре 50 °С, МПа	1,35	1,71	1,66	1,50
Водостойкость, %	0,76	0,85	0,92	0,87

- 3) водонасыщение;
- 4) предел прочности асфальтобетона на сжатие при температурах 50 и 20 °С;
- 5) характеристики сдвигоустойчивости;
- 6) водостойкость.

В качестве средней плотности уплотненного материала принято среднеарифметическое значение результатов определения средней плотности трех образцов. Анализ результатов показал, что использование пыли керамической в составе асфальтобетонной смеси не меняет структуру последней и не изменяет среднюю плотность уплотненного материала.

Средняя плотность минеральной части вычисляется по результатам определения средней плотности уплотненного материала. Полученные результаты показывают, что использование пыли керамической в качестве заполнителя не несет за собой существенных изменений в структуре асфальтобетонной смеси.

Водонасыщение образцов возрастает по мере увеличения количества керамической пыли в составе асфальтобетонной смеси, оставаясь в пределах норм (1,5÷4 %), установленных ГОСТ 9128–2009. Стоит отметить, что смесь с 50%-ным содержанием пыли керамической имеет водонасыщение, равное 3,7, что близко к максимально допустимому значению, поэтому дальнейшее увеличение керамической пыли в составе асфальтобетонной смеси нецелесообразно.

По результатам определения предела прочности асфальтобетона при сжатии (при температуре 50 °С) видно, что с увеличением количества керамической пыли в составе асфальтобетона прочность возрастает, находясь

в пределах, установленных ГОСТ 9128–2009 (не ниже 1 МПа). Это обусловлено формой внедряемого материала, что обеспечивает большее сцепление материала (песок имеет обкатанную форму частиц, пыль керамическая – угловатую), и размером частиц (песок имеет  $M_k = 2,08$  (средний), пыль керамическая – 1,96 (мелкий), пыль керамическая заполняет пустотность в асфальтобетонной смеси, делая ее плотнее и прочнее при сжатии).

В то же время на предел прочности при сжатии (при температуре 20 °С) увеличение количества керамической пыли в составе асфальтобетона существенно не влияет. При этом все найденные значения соответствуют ГОСТ 9128–2013 (не ниже 2,2 МПа).

Характеристики сдвигоустойчивости асфальтобетона, такие как средняя работа при одноосном сжатии и средняя работа при сжатии по схеме Маршалла, не нормируются ГОСТ 9128–2009 «Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия», они необходимы для определения коэффициента внутреннего трения и сцепления при сдвиге. Определение коэффициента внутреннего трения показывает, что при использовании керамической пыли в составе асфальтобетонной смеси значения данного показателя находятся ниже предела 0,81, установленного ГОСТ. Этот показатель зависит от минеральных составляющих и битума, следовательно, для повышения коэффициента внутреннего трения необходимо пересмотреть состав асфальтобетона и количество входящего в него битума.

Второй показатель сдвигоустойчивости – сцепление при сдвиге соответствует ГОСТ 9128–2009 (не ниже 0,35 МПа). Из анализа результатов, представленных в табл. 3, следует, что с увеличением количества керамической пыли в составе асфальтобетона, сцепление при сдвиге последнего убывает, но при этом оно остается намного выше показателя чистой смеси.

Водостойкость асфальтобетона при использовании керамической пыли в составе асфальтобетонной смеси соответствует требованиям ГОСТ 9128–2009 (не ниже 0,85 %) за исключением чистой смеси, показатель водостойкости которой 0,76 %. Таким образом, использование керамической пыли в составе асфальтобетонной смеси улучшает водостойкость данного материала. Более низкий процент водонасыщения чистой смеси может быть увеличен в зависимости от точности подбора состава асфальтобетонной смеси.

Использование пыли керамической в составе асфальтобетонной смеси в качестве заполнителя не меняет структуру и существенно не изменяет физико-механические свойства последней.

Статистическое значимое расхождение между результатами экспериментальных средних значений всех испытаний незначительно.

На основе анализа результатов испытаний рекомендуется к применению в строительстве асфальтобетонная смесь, содержащая в своем составе 50 % керамической пыли от количества песка строительного. В данной асфальтобетонной смеси все значения показателей удовлетворяют требования ГОСТ 9128–2009 «Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия». По некоторым показателям наблюдается ухудшение свойств, это связано с неточным подбором состава асфальтобетонной смеси (пересмотр состава смеси исправит данные результаты), а по некоторым улучшение свойств, по сравнению с показателями чистой (эталонной) смеси.

**Выводы.** 1. Отход производства – пыль керамическая соответствует требованиям ГОСТ 8736–93 к песку мелкому II класса, который используется в качестве заполнителя для асфальтобетонных смесей.

2. Использование пыли керамической в составе асфальтобетонной смеси в качестве заполнителя не меняет ее структуру и физико-механические свойства. К применению в строительстве рекомендуется асфальтобетонная смесь, в которой 50 % песка заменено на отход.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Соколов Э.М., Москвичев Ю.А. Утилизация отходов производства и потребления. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2006. 388 с.
2. Поташников Ю.М. Утилизация отходов производства и потребления. Тверь: Изд-во ТГТУ, 2004. 107 с.
3. Красноручка Н.Г., Хван Т.А., Манжеева А.В. Зарубежный опыт переработки отходов в решении экологических проблем // Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования: докл. I Междунар. науч.-практ. интернет-конф., посвящ. 25-летию ФГБНУ «Прикаспийский научно-исследовательский институт аридного земледелия». 2016. <https://elibrary.ru/item.asp?id=26271536>
4. Кортаев А.П. Повышение качества асфальтобетона за счет использования пористого минерального порошка: дис. ... канд. техн. наук. Белгород, 2009. 163 с.
5. Хитров К.А. Исследование возможности применения пыли уноса асфальтосмесительных установок взамен традиционных порошков для строительства лесовозных автодорог: дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2010. 102 с.
6. Сергута А.М. Технология получения и применения минеральных порошков, активированных лесохимическими реагентами, для строительства лесовозных автодорог: дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2005. 167 с.
7. Шелудяков И.В. Технология приготовления и применения минерального порошка на основе никелевого шлака в дорожном строительстве лесного комплекса: дис. ... канд. техн. наук. Екатеринбург, 2005. 137 с.
8. Васильевская Г.В., Шевченко В.А., Киселев В.П. Применение отходов промышленности ГМК «Норильский никель» в производстве дорожного асфальтобетона // Вестн. ИрГТУ. 2015. № 3 (98). С. 130–134.
9. Mishra V., Mishra R.S. A study on use of industrial wastes in rural road construction // International journal of innovative research in science, engineering and technology. 2015. Vol. 4. Issue 11. P. 10387–10398.
10. Chandra S., Choudhary R. Performance characteristics of bituminous concrete with industrial wastes as filler // Journal of materials in civil engineering. 2013. Vol. 25. Issue 11. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000730](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000730)
11. Androjić I., Kaluđer G. Influence of recycled filler on asphalt mix properties // Građevinar. 2017. № 3 (69). P. 207–214.

**Химич Татьяна Сергеевна**, канд. техн. наук, доц.; E-mail: [himich\\_ts@mail.ru](mailto:himich_ts@mail.ru)  
Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), г. Омск

**Матвеев Сергей Александрович**, д-р техн. наук, проф.; E-mail: [dfsibadi@mail.ru](mailto:dfsibadi@mail.ru)  
Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), г. Омск

**Кадисов Григорий Михайлович**, д-р техн. наук, проф.; E-mail: [kadiso@rambler.ru](mailto:kadiso@rambler.ru)  
Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), г. Омск

**Уткин Владимир Александрович**, д-р техн. наук, проф.; E-mail: prof.utkin@mail.ru  
Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ),  
г. Омск

Получено 16.04.2019

**Khimich Tat'yana Sergeevna**, PhD, Ass. Professor; E-mail: himich\_ts@mail.ru  
Siberian State Automobile and Highway University, Omsk, Russia

**Matveev Sergey Alexandrovich**, DSc, Professor; E-mail: dfsibadi@mail.ru  
Siberian State Automobile and Highway University, Omsk, Russia

**Kadisov Grigoriy Mikhaylovich**, DSc, Professor; E-mail: kadisov@rambler.ru  
Siberian State Automobile and Highway University, Omsk, Russia

**Utkin Vladimir Alexandrovich**, DSc, Professor; E-mail: prof.utkin@mail.ru  
Siberian State Automobile and Highway University, Omsk, Russia

## **USE OF SECONDARY WASTE OF CERAMIC DUST AS A FILLER IN THE PRODUCTION OF ASPHALT CONCRETE**

The use of industrial waste – ceramic dust in the production of asphalt is considered. A comparison of the characteristics of ceramic dust and building sand is done. The selection of the composition of the asphalt concrete mix with different content of ceramic dust (10, 30, 50 %) of the amount of building sand that is part of the mixture is made. Samples from this mixture were tested in a certified construction laboratory. It is shown that the use of ceramic dust in the composition of the asphalt concrete mixture as a filler does not significantly change either the structure or the physical and mechanical properties of the latter. The possibility of using asphalt concrete in construction practice, in which 50 % of sand is replaced by waste, has been proved.

**Key words:** ceramic dust, production waste, recycled materials, asphalt mix.

### **REFERENCES**

1. Sokolov E.M., Moskvichev Yu.A. Utilizatsiya otkhodov proizvodstva i potrebleniya [Recycling of production and consumption waste]. Yaroslavl', Publishing house YaGTU, 2006. 388 p. (in Russian)
2. Potashnikov Yu.M. Utilizatsiya otkhodov proizvodstva i potrebleniya [Recycling of production and consumption waste]. Tver', Publishing house TGTU, 2004. 107 p. (in Russian)
3. Krasnorustkaya N.G., Khvan T.A., Manzheeva A.V. Zarubezhnyy opyt pererabotki otkhodov v reshenii ekologicheskikh problem [Foreign experience of recycling in solving environmental problems]. Sovremennoye ekologicheskoye sostoyaniye prirodnoy sredy i nauchno-prakticheskiye aspekty ratsional'nogo prirodopol'zovaniya: dokl. I Mezhdunar. nauch.-prakt. internet-konf., posvyashchennoy 25-letiyu FGBNU «Prikaspiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut aridnogo zemledeliya» [Current ecological state of the environment and scientific and practical aspects of environmental management: reports of the I International scientific and practical Internet conference]. 2016. <https://elibrary.ru/item.asp?id=26271536>. (in Russian)
4. Korotaev A.P. Povysheniye kachestva asfal'tobetona za schet ispol'zovaniya poristogo mineral'nogo poroshka: dis. ... kand. tekhn. nauk [Improving the quality of asphalt concrete due to the use of porous mineral powder: diss. ... PhD]. Belgorod, 2009. 163 p. (in Russian)



5. K h i t r o v K.A. Issledovanie vozmozhnosti primeneniya pyli unosa asfal'to-smesitel'nykh ustanovok vzamen traditsionnykh poroshkov dlya stroitel'stva lesovoznykh avtodorog: dis. ... kand. tekhn. nauk [Investigation of the possibility of using ash from asphalt mixing plants instead of traditional powders for the construction of forest roads: diss. ... PhD]. Saint Petersburg, 2010. 102 p. (in Russian)
6. S e r g u t a A.M. Tekhnologiya polucheniya i primeneniya mineral'nykh poroshkov, aktivirovannykh lesokhimicheskimi reagentami, dlya stroitel'stva lesovoznykh avtodorog: dis. ... kand. tekhn. nauk [The technology of production and application of mineral powders, activated by wood-chemical reagents, for the construction of forest roads: diss. ... PhD]. Saint Petersburg, 2005. 167 p. (in Russian)
7. S h e l u d y a k o v I.V. Tekhnologiya prigotovleniya i primeneniya mineral'nogo poroshka na osnove nikel'evogo shlaka v dorozhnom stroitel'stve lesnogo kompleksa: diss. ... kand. tekhn. nauk [Technology of preparation and use of mineral powder based on nickel slag in road construction of the forest complex: diss. ... PhD]. Ekaterinburg, 2005. 137 p. (in Russian)
8. V a s i l o v s k a y a G.V., S h e v c h e n k o V.A., K i s e l e v V.P. Primeniye otkhodov promyshlennosti GMK «Noril'skiy nikel'» v proizvodstve dorozhnogo asfal'tobetona [The use of industrial waste of MMC Norilsk Nickel in the production of road asphalt concrete]. Vestnik IrGTU [Herald of ISTU]. 2015. No. 3 (98). Pp. 130–134. (in Russian)
9. M i s h r a B., M i s h r a R.S. A study on use of industrial wastes in rural road construction. International journal of innovative research in science, engineering and technology. 2015. Vol. 4. Issue 11. Pp. 10387–10398.
10. C h a n d r a S., C h o u d h a r y R. Performance characteristics of bituminous concrete with industrial wastes as filler. Journal of materials in civil engineering. 2013. Vol. 25. Issue 11. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000730](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000730)
11. A n d r o j i ć I., K a l u đ e r G. Influence of recycled filler on asphalt mix properties. Građevinar. 2017. No. 3 (69). Pp. 207–214.