

УДК 625.7/8:691.168

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КРЕМНЕЗЕМСОДЕРЖАЩИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ АСФАЛЬТОБЕТОНА

Канд. техн. наук, доцент Т.С. Химич,
канд. техн. наук, доцент Е.В. Шаповалова

(Сибирский государственный
автомобильно-дорожный)

университет (СибАДИ))

Конт. информация: himich_ts@mail.ru;
shelv62@mail.ru

В статье рассмотрена возможность частичной замены природных сырьевых компонентов в производстве асфальтобетона кремнеземсодержащими промышленными отходами. Это приведет к снижению антропогенной нагрузки на природные системы при сохранении эксплуатационных характеристик строительного материала.

Ключевые слова: кремнеземсодержащие промышленные отходы, асфальтобетон, рациональное природопользование, эксплуатационные свойства.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время проблема уменьшения количества промышленных отходов стоит достаточно остро. Не менее важным является требование рационального использования природных ресурсов, снижение объемов их изъятия из окружающей среды. Производство строительных материалов – эта та отрасль промышленности, в которой можно перерабатывать многотоннажные отходы промышленных предприятий. В программу фундаментальных исследований Российской академии архитектуры и строительных наук на 2013-2020 годы впервые включен раздел «Прогнозные исследования по решению проблемы полной переработки техногенных отходов промышленных предприятий в строительные материалы» [1]. Формирование ресурсной базы предприятий на основе вторичного сырья позволит не только снизить себестоимость выпускаемой продукции, но и переработать промышленные отходы, оказывающие негативное воздействие на окружающую среду и человека. Целесообразным является приближение мест переработки отходов к местам их складирования, что позволит снизить транспортные расходы, а также экологические риски, возникающие при перевозке опасных отходов. На кафед-

ре «Инженерная экология и химия» ФГБОУ ВО «СибАДИ» в течение многих лет проводятся научные исследования, направленные на поиск путей утилизации промышленных отходов в производстве строительных материалов [2-6]. Выполняя исследования в данном направлении, нельзя упускать из виду вопросы экологической безопасности материалов, изготовленных с использованием промышленных отходов.

В данной статье рассмотрена возможность замены одного из компонентов асфальтобетона – песка строительного, на некоторые виды промышленных отходов, в частности, абразивный керамический порошок и песок, загрязненный мазутом.

Характеристика материалов, используемых при исследовании

В представленном исследовании были использованы отходы предприятия СМФ №8 ГП «Северавтодор» (г. Сургут) – песок, загрязненный мазутом (содержание мазута – 12%), и кранового завода (г. Омск) – абразивный керамический порошок. Песок, загрязненный мазутом, образуется в результате ликвидации разливов нефтепродуктов (масел, топлива) на территории предприятия, а также как основной компонент смёта с территории предприятия [5]. Он относится к IV классу опасности и пожароопасен. Абразивный керамический порошок образуется в результате обработки металлических изделий керамической дробью и также относится к IV классу опасности [6]. Компонентный состав отходов приведен в **табл. 1**.

Для изготовления опытных образцов асфальтобетона использовали:

- известняковый щебень фракции 5-20, соответствующий ГОСТ 8267-93;
- песок для строительных работ, соответствующий ГОСТ 8736-93;
- смесь щебеноочно-песчаная типа С-7 (0-10), соответствующая ГОСТ 25607-09;
- битум нефтяной дорожный вязкий БНД 90/130, соответствующий ГОСТ 22245-90.

В **табл. 2** дана сравнительная характеристика зернового состава песка строительного (ГОСТ 8736-93) и абразивного керамического порошка. Зерновой состав песка, загрязненного мазутом, не исследовался, так как мазут препятствует нормальному рассеиванию песка через сито. В **табл. 3** сравниваются основные показатели строительного песка и абразивного керамического порошка [3].

Таблица 1**Компонентный состав отходов**

| <i>Наименование компонента</i> | <i>Абразивный керамический порошок, масс. %</i> | <i>Песок, загрязненный мазутом, масс. %</i> |
|--------------------------------|---|---|
| <i>Оксид кремния</i> | 44,06 | 68,02 |
| <i>Оксид кальция</i> | 19,57 | 3,61 |
| <i>Оксид железа</i> | 18,98 | 7,37 |
| <i>Оксид алюминия</i> | 8,66 | 8,73 |
| <i>Оксид магния</i> | 7,40 | 0,24 |
| <i>Оксид титана</i> | 0,60 | - |
| <i>Никель</i> | 0,18 | - |
| <i>Марганец</i> | 0,45 | - |
| <i>Цинк</i> | 0,08 | - |
| <i>Медь</i> | 0,01 | - |
| <i>Свинец</i> | 0,01 | - |
| <i>Мазут</i> | - | 12,03 |

Таблица 2**Зерновой состав строительного песка и абразивного керамического порошка**

| <i>Наименование остатка на сите</i> | <i>Остаток на сите</i> | | | | | | |
|-------------------------------------|---|------------|-------------|-------------|--------------|-------------|------------------|
| | <i>> 5</i> | <i>2,5</i> | <i>1,25</i> | <i>0,63</i> | <i>0,315</i> | <i>0,16</i> | <i>< 0,16</i> |
| | <i>Песок, используемый в производстве асфальтобетона, масс. %</i> | | | | | | |
| <i>Частный</i> | - | 3,6 | 7,6 | 23,5 | 29,5 | 29,9 | 5,9 |
| <i>Полный</i> | - | 3,6 | 11,2 | 34,7 | 64,2 | 94,1 | 100,0 |
| | <i>Абразивный керамический порошок, масс. %</i> | | | | | | |
| <i>Частный</i> | - | 0,5 | 7,7 | 24,9 | 34,3 | 19,8 | 12,8 |
| <i>Полный</i> | - | 0,5 | 8,2 | 33,1 | 67,4 | 87,8 | 100,0 |

Таблица 3

Сравнительная характеристика показателей кварцевого песка и абразивного керамического порошка

| <i>Заполнитель</i> | <i>Влажность, %</i> | <i>Модуль крупности, Мкр.</i> | <i>Содержание илистых, глинистых и пылевидных примесей, %</i> | <i>Содержание глины в комках, %</i> |
|---|----------------------------|--------------------------------------|--|--|
| <i>Кварцевый песок</i> | 3,0 – 3,2 | 2,08 | 5,9 | 0,30 |
| <i>Абразивный керамический порошок</i> | 2,3 – 2,5 | 1,96 | 12,8 | 0,25 |

Очевидно, что по компонентному и зерновому составу исследуемые отходы незначительно отличаются от строительного песка и, теоретически, могут быть использованы в производстве асфальтобетона для приготовления смесей типа Б марки II [7].

Методики, применяемые при исследовании

Экспериментальная часть исследования проводилась в лаборатории Управления дорожного хозяйства Омской области. Образцы асфальтобетона готовили по ГОСТ 12801-98 [8]. Соотношение сырьевых компонентов определили по методике [9]. Количество асфальтобетонной смеси (АБС) одного состава – 10,5 кг. Массовые доли щебня – 50%, песка – 15%, отсева щебеноочно-песчаной смеси – 35%. В составе асфальтобетона последовательно заменяли часть строительного песка промышленным отходом. Так, в первой серии экспериментов в составе асфальтобетона строительный песок заменяли песком, загрязненным мазутом, в количестве 10, 30 и 50% от требуемого количества песка. Все компоненты смесей разогревали до 160 °C. Образцы высотой 71-72 мм уплотняли на прессе ИП 6010-100-1 под нагрузкой 160 КН по 3 мин. и выдерживали в течение 24 ч.

В другой серии экспериментов строительный песок заменяли абразивным керамическим порошком также в количестве от 10, 30 и 50%.

Образцы асфальтобетона испытывали по ГОСТ 9128-2009 [9], определяя:

- среднюю плотность уплотненного материала;

- среднюю плотность минеральной части, водонасыщение;
- предел прочности при сжатии при температуре 20 °C и 50 °C;
- водостойкость для плотных асфальтобетонов;
- сдвигостойчивость по коэффициенту внутреннего трения и сцеплению при сдвиге при температуре 50 °C.

В ходе всех экспериментов проводилось по пять параллельных испытаний, с определением доверительного интервала.

Обсуждение результатов исследования

Результаты испытания образцов асфальтобетонной смеси, изготовленной с использованием песка, загрязненного мазутом в количестве 12%, приведены в **табл. 4 [4]**, образцов асфальтобетонной смеси с использованием абразивного керамического порошка – в **табл. 5 [6]**.

Таблица 4

Результаты испытаний образцов асфальтобетонной смеси с использованием песка, загрязненного мазутом

| <i>Наименование показателя</i> | <i>Содержание песка, загрязненного мазутом в количестве 12%, в общем количестве песка, добавленного в смесь</i> | | | |
|--|---|-------------|-------------|-------------|
| | <i>0%</i> | <i>10%</i> | <i>30%</i> | <i>50%</i> |
| <i>Средняя плотность уплотненного материала, г/см³</i> | 2,38 ± 0,02 | 2,38 ± 0,02 | 2,37 ± 0,02 | 2,37 ± 0,02 |
| <i>Предел прочности при сжатии, при температуре 50 °C, МПа</i> | 1,10 ± 0,40 | 1,16 ± 0,30 | 1,04 ± 0,17 | 1,05 ± 0,97 |
| <i>Предел прочности при сжатии, при температуре 20 °C, МПа</i> | 3,72 ± 0,47 | 3,83 ± 0,55 | 3,67 ± 0,62 | 2,17 ± 0,22 |
| <i>Водонасыщение</i> | 2,91 ± 1,54 | 1,47 ± 0,74 | 1,90 ± 1,12 | 3,19 ± 2,33 |
| <i>Водостойкость*</i> | 0,76 | 0,86 | 0,72 | 0,71 |
| <i>Сдвигостойчивость для асфальтобетонов типа Б по коэффициенту внутреннего трения</i> | 0,82 ± 0,47 | 0,59 ± 0,22 | 0,66 ± 0,15 | 0,84 ± 0,05 |
| <i>Сдвигостойчивость для асфальтобетонов типа Б по сцеплению при сдвиге при температуре 50 °C, МПа</i> | 1,35 ± 0,94 | 1,47 ± 0,35 | 1,36 ± 0,22 | 0,75 ± 0,05 |

*Примечание: * Водостойкость определялась расчетным методом по ГОСТ 12801-98 [7].*

Анализ результатов эксперимента, приведенных в **табл. 4**, показывает, что замена в составе асфальтобетонной смеси песка строительного на отход производства (песок, загрязненный мазутом в количестве 12%) возможна на одну треть (до 30%). При этом не происходит значимого ухудшения свойств материала. Увеличение количества отхода до 50% от требуемого количества песка приводит к значимому снижению предела прочности при сжатии при температуре 20 °С и к уменьшению сдвигостойчивости по сцеплению при сдвиге при температуре 50 °С. Также значимо возрастает водонасыщение материала, что негативно скажется на его долговечности.

Для объяснения полученных результатов следует учесть, что песок в составе асфальтобетона участвует в формировании песчано-гравийного каркаса. Прочность готового асфальтобетона зависит не только от процентного содержания песка, но и от степени его сцепления с битумом. Нефтепродукты, входящие в состав мазута, производят в момент перемешивания компонентов разбавляющий эффект, что позволяет получить более однородную смесь. Пленка мазута на поверхности частиц песка растворяется в битуме, в результате прочность сцепления песка и битума возрастает. Однако увеличение количества отхода до 50% и более приводит к значительному разжижению смеси. Толщина прослойки жидкой фазы между твердыми частицами увеличивается, а прочность песчаного каркаса снижается. Это приводит к снижению прочности при сжатии и при сдвиге, особенно при повышенной температуре.

Абразивный керамический порошок по своим свойствам близок к песку, т.е. его взаимодействие с битумом и цементом, по существу, не отличается от взаимодействия речного песка, используемого при изготовлении строительных материалов [2]. Анализ зернового состава показал, что в составе абразивного керамического порошка крупных частиц (остаток на сите с отверстиями размером 2,5 мм) значительно меньше, чем в песке строительном. Остаток на сите с отверстиями размером 0,63 мм и 0,315 мм незначительно (на 1,5-5%) превышает соответствующие значения для песка строительного, однако пылевидных частиц почти в 2 раза больше. Модуль крупности песка равен 2,08, а абразивного керамического порошка – 1,96.

При формировании структуры асфальтобетона крупные частицы играют роль каркаса, в то время как пылевидные частицы заполняют образующиеся пустоты, в результате чего уменьшается количество пор, возрастает морозостойкость материала и увеличивается прочность образцов при сжатии. Результаты испытаний (**табл. 5**) подтверждают, что предел прочности при сжатии при температуре 50 °С возрастает с увеличением количества абразивного керамического порошка в составе ас-

фальтобетона. Это обусловлено формой внедряемого материала, что обеспечивает большее сцепление компонентов с битумом (песок обладает обкатанной формой частиц, абразивный керамический порошок – угловатой, игольчатой). Предел прочности при сжатии при температуре 20 °С существенно не изменяется с увеличением количества керамического порошка в составе асфальтобетона.

Таблица 5

Результаты испытаний образцов асфальтобетонной смеси с использованием абразивного керамического порошка

| Наименование показателя | Требования ГОСТ 9128-09 АБС типа Б марки II | Образцы | | | |
|---|---|--------------|---|-------------|------------|
| | | Чистая смесь | Смесь с абразивным керамическим порошком в количестве | | |
| | | | 10% | 30% | 50% |
| <i>Предел прочности при сжатии, при температуре 50 °С, МПа, для плотных асфальтобетонов типа Б, не менее</i> | 1,0 | 1,1 ± 0,4 | 1,1 ± 0,2 | 1,3 ± 0,2 | 1,4 ± 0,2 |
| <i>Предел прочности при сжатии, при температуре 20 °С для асфальтобетонов всех типов, МПа, не менее</i> | 2,2 | 3,7 ± 0,5 | 3,4 ± 0,6 | 3,7 ± 0,6 | 3,8 ± 1,0 |
| <i>Водонасыщение для образцов, отформованных из смеси, % по объему</i> | от 1,5 до 4,0 | 2,7 ± 0,6 | 1,7 ± 0,3 | 2,2 ± 0,9 | 3,7 ± 0,4 |
| <i>Водостойкость для плотных асфальтобетонов, не менее</i> | 0,85 | 0,76 | 0,85 | 0,92 | 0,87 |
| <i>Сдвигостойчивость по сцеплению при сдвиге при температуре 50 °С, МПа, для асфальтобетонов типа Б, не менее</i> | 0,35 | 1,35 ± 0,95 | 1,71 ± 0,42 | 1,66 ± 0,42 | 1,5 ± 0,15 |

Водонасыщение образцов асфальтобетона возрастает по мере увеличения количества керамического порошка в составе смеси. Так как модуль крупности абразивного керамического порошка меньше, следовательно, увеличивается адсорбционная поверхность частиц, что позволяет удерживать на поверхности большее количество молекул воды. При этом замена даже 50% песка абразивным керамическим порошком не приводит к увеличению водонасыщения выше нормативных значений.

Сдвигостойчивость по сцеплению при сдвиге остается в тех же пределах, что и при испытании смеси с чистым строительным песком.

Класс опасности асфальтобетона, изготовленного с использованием перечисленных промышленных отходов, не изменяется. Прочно связанные с остальными компонентами строительной смеси отходы не вымываются водой, не испаряются в окружающую среду в процессе эксплуатации материалов и не создают повышенный радиоактивный фон, так как не содержат радиоактивных изотопов (удельная эффективная активность не превышает 740 Бк/кг) [10]. Использование отходов в качестве вторичных сырьевых материалов позволит уменьшить объемы отходов, направляемых для захоронения на полигон промышленных отходов, и сократить количество используемых природных ресурсов.

ВЫВОДЫ

1. Кремнеземсодержащие промышленные отходы, такие как песок, загрязненный мазутом в количестве 12%, и абразивный керамический порошок (модуль крупности 1,96), могут быть использованы в качестве вторичного сырья в производстве асфальтобетона для приготовления АБС типа Б марки II (для устройства верхних слоев покрытий при новом строительстве и ремонте дорог III категории, проездов, площадок, пешеходных зон и тротуаров) как частичная замена песка строительного. При соответствующем технико-экономическом обосновании можно рекомендовать заменить используемый в производстве асфальтобетона строительный песок на одну треть песком, загрязненным до 12% мазутом, а абразивным керамическим порошком – до 50%.
2. Нефтепродукты, входящие в состав мазута, производят в момент перемешивания компонентов разбавляющий эффект, что позволяет получить более однородную смесь. Однако использование песка, загрязненного мазутом в количестве 50% и более приводит к дальнейшему усилению разбавляющего эффекта. Толщина прослойки вяжущего между твердыми частицами асфальтобетонной смеси увеличивается, что приводит к снижению прочности.

3. Рост предела прочности образцов асфальтобетона в случае использования абразивного керамического порошка объясняется угловатой и игольчатой формой его частиц, а также наличием мелких частиц (<0,16), которые заполняют поры и пустоты, увеличивая прочность материала. Ограничение по использованию абразивного керамического порошка более 50% вызвано наличием в его составе большого количества пылевидных частиц, в результате чего увеличивается адсорбция воды, что приводит к росту водонасыщения материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чернышов Е.М. Проблемы развития научных основ и прикладных решений в задачах строительно-технологической утилизации техногенных отходов / Е.М. Чернышов, Н.Д. Потамошнева // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2014. – №6. – С. 21-26.
2. Химич Т.С. Использование отходов промышленных предприятий в дорожных покрытиях / Т.С. Химич, Т.В. Кривцова, А.В. Лейнвебер. В кн.: Ориентированные фундаментальные и прикладные исследования – основа модернизации и инновационного развития архитектурно-строительного и дорожно-транспортного комплексов России (с международным участием): тез. докл. Всероссийской 65-ой науч.-техн. конф. ФГБОУ ВПО «СибАДИ», Омск, декабрь 2011 г. – Омск, 2011. – С. 103-106.
3. Химич Т.С. Использование керамической крошки в качестве заполнителя в производстве дорожных плит / Т.С. Химич, А.В. Лейнвебер. В кн. Развитие дорожно-транспортного и строительного комплексов и освоение стратегически важных территорий Сибири и Арктики: вклад науки. Под ред В.Ю. Кирничного и др. – Омск: СибАДИ, 2014. – С. 363-366.
4. Шаповалова Е.В. Использование отходов предприятия СМФ №8 ГП «Северавтодор» в качестве вторичных ресурсов / Е.В. Шаповалова, Д.А. Смирнова. В кн. Развитие дорожно-транспортного и строительного комплексов и освоение стратегически важных территорий Сибири и Арктики: вклад науки. Под ред В.Ю. Кирничного и др. – Омск: СибАДИ, 2014. – С. 380-383.
5. Смирнова Д.А. Снижение количества отходов предприятий автотранспортного комплекса в результате использования их как заполнителя при изготовлении асфальтобетона / Д.А. Смирнова. В кн.: сборник научных трудов молодых ученых по материалам

Международной научно-практической конференции «Инновационное лидерство строительной и транспортной отрасли глазами молодых ученых». Под ред. В.Ю. Кирничного и др. – Омск: СибАДИ, 2014. – С. 56-58.

6. Кривцова Т.В. Возможность использования керамической крошки в строительных растворах / Т.В. Кривцова, А.В. Лейнвебер. В кн.: сборник научных трудов молодых ученых по материалам Международной научно-практической конференции «Инновационное лидерство строительной и транспортной отрасли глазами молодых ученых». Под ред. В.Ю. Кирничного и др. – Омск: СибАДИ, 2014. – С. 28-31.
7. ГОСТ 9128-2009. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия. Межгосударственный стандарт. – Введ. 22-04-2010. – М.: Стандартинформ, 2010. – 15 с.
8. ГОСТ 12801-98. Материалы на основе органических вязущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний. – Введ. 1999-01-01. – М.: ГУП ЦПП, 1999. – 54 с.
9. Автомобильные дороги и мосты. Проектирование состава асфальтобетона и методы его испытаний. Обзорная информация. – М.: ФГУП «Информавтодор», 2005. – Вып. 6. – 103 с. – Электрон. данные. – URL: <http://aquagroup.ru/normdocs/16273> (дата обращения 06.10.2017).
10. НРБ-99/2009. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): санитарные правила и нормативы. СанПиН 2.6.1.2523 – 09/ Государственные санитарно-эпидемиологические правила и нормативы – официальное издание. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с.

LITERATURA

1. Chernyshov E.M. Problemy razvitiya nauchnyh osnov i prikladnyh reshenij v zadachah stroitel'no-tehnologicheskoy utilizacii tehnogennyh othodov / E.M. Chernyshov, N.D. Potamoshneva // Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tehnologii XXI veka. – 2014. – #6. – S. 21-26.
2. Himich T.S. Ispol'zovanie othodov promyshlennyyh predprijatij v dorozhnyh pokrytijah / T.S. Himich, T.V. Krivcova, A.V. Lejnveber. V kn.: Orientirovannye fundamental'nye i prikladnye issledovanija – osnova modernizacii i innovacionnogo razvitiya arhitekturno-stroitel'nogo i dorozhno-transportnogo kompleksov Rossii (s mezhdunarodnym uchastiem): tez. dokl. Vserossijskoj 65-oj nauch.-

- tehn. konf. FGBOU VPO «SibADI», Omsk, dekabr' 2011 g. – Omsk, 2011. – S. 103-106.*
3. *Himich T.S. Ispol'zovanie keramicheskoy kroshki v kachestve zapolnitelja v proizvodstve dorozhnyh plit / T.S. Himich, A.V. Lejnveber. V kn. Razvitie dorozhno-transportnogo i stroitel'nogo kompleksov i osvoenie strategicheski vazhnyh territorij Sibiri i Arktiki: vklad nauki. Pod red V.Ju. Kirnichnogo i dr. – Omsk: SibADI, 2014. – S. 363-366.*
 4. *Shapovalova E.V. Ispol'zovanie othodov predprijatija SMF #8 GP «Severavtodor» v kachestve vtorichnyh resursov / E.V. Shapovalova, D.A. Smirnova. V kn. Razvitie dorozhno-transportnogo i stroitel'nogo kompleksov i osvoenie strategicheski vazhnyh territorij Sibiri i Arktiki: vklad nauki. Pod red V.Ju. Kirnichnogo i dr. – Omsk: SibADI, 2014. – S. 380-383.*
 5. *Smirnova D.A. Snizhenie kolichestva othodov predprijatij avtotransportnogo kompleksa v rezul'tate ispol'zovanija ih kak zapolnitelja pri izgotovlenii asfal'tobetona / D.A. Smirnova. V kn.: sbornik nauchnyh trudov molodyh uchenyh po materialam Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Innovacionnoe liderstvo stroitel'noj i transportnoj otrazli glazami molodyh uchenyh». Pod red. V.Ju. Kirnichnogo i dr. – Omsk: SibADI, 2014. – S. 56-58.*
 6. *Kravcova T.V. Vozmozhnost' ispol'zovaniya keramicheskoy kroshki v stroitel'nyh rastvorah / T.V. Kravcova, A.V. Lejnveber. V kn.: sbornik nauchnyh trudov molodyh uchenyh po materialam Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Innovacionnoe liderstvo stroitel'noj i transportnoj otrazli glazami molodyh uchenyh». Pod red. V.Ju. Kirnichnogo i dr. – Omsk: SibADI, 2014. – S. 28-31.*
 7. *GOST 9128-2009. Smesi asfal'tobetonnye dorozhnye, ajerodromnye i asfal'tobeton. Tehnicheskie uslovija. Mezhgosudarstvennyj standart. – Vved. 22-04-2010. – M.: Standartinform, 2010. – 15 s.*
 8. *GOST 12801-98. Materialy na osnove organicheskikh vjazhushhih dlja dorozhnogo i ajerodromnogo stroitel'stva. Metody ispytanij. – Vved. 1999-01-01. – M.: GUP CPP, 1999. – 54 s.*
 9. *Avtomobil'nye dorogi i mosty. Proektirovaniye sostava asfal'tobetona i metody ego ispytanij. Obzornaja informacija. – M.: FGUP «Informavtodor», 2005. – Vyp. 6. – 103 s. – Jelektron. dannye. – URL: <http://aquagroup.ru/normdocs/16273> (data obrashhenija 06.10.2017).*
 10. *NRB-99/2009. Normy radiacionnoj bezopasnosti (NRB-99/2009): sanitarnye pravila i normativy. SanPiN 2.6.1.2523 – 09/ Gosudarstvennye sanitarnoje epidemiologicheskie pravila i normativy – ofisial'noe izdanie. – M.: Federal'nyj centr gigieny i jepidemiologii Rospotrebnadzora, 2009. – 100 s.*

***USE OF SILICA-CONTAINING INDUSTRIAL WASTES
IN ASPHALT CONCRETE PRODUCTION***

Ph. D. (Tech.) T.S. Himich,

Ph. D. (Tech.) E.V. Shapovalova

*(Siberian State Automobile and
Highway University (SibADI))*

*Contact information: himich_ts@mail.ru;
shelv62@mail.ru*

The article deals with the possibility of partial replacement of natural raw materials by silica-containing industrial wastes in asphalt concrete production. This should provide reducing an anthropogenic load on natural systems together with preservation of performance of construction materials.

Key words: *silica-containing industrial wastes, asphalt concrete, efficient use of natural resources, performance.*

Рецензент: канд. техн. наук С.В. Полякова (ФАУ «РОСДОРНИИ»).

Статья поступила в редакцию: 16.08.2017 г.