

РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭНЕРГОМИНИМИЗАЦИЯ

УДК 625.852

К.Г. Пугин, Е.В. Калинина, А.Р. Халитов

Пермский государственный технический университет

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА

Представлены результаты экспериментальных исследований по определению возможности комплексного использования отходов черной металлургии (шлаки и песок из отсева дробления) Чусовского металлургического завода и отходов содового производства (шлам карбоната кальция) Березниковского содового завода в строительстве асфальтобетонных дорожных покрытий.

Ключевые слова: состав и изготовление асфальтобетонных смесей, щебень из металлургических шлаков, отсева дробления шлаков, шлам карбоната кальция.

Урбанизированные территории характеризуются хорошо развитой транспортной инфраструктурой, являющейся составной частью производственной инфраструктуры и тесно взаимосвязанной с уровнем социально-экономического развития. На долю автотранспорта приходится 75 % объемов перевозок грузов и 73 % внегородских пассажирских перевозок. Развитие транспортной инфраструктуры, так же как и рациональное природопользование, является приоритетным направлением развития науки и техники [1, 2]. В числе мероприятий по ремонту и содержанию автомобильных дорог федерального и регионального значения в РФ по Федеральной целевой программе к 2010 году предусматривался капитальный ремонт 142,8 тыс. км автомобильных дорог общего пользования [3]. В Пермском крае к 2013 году [4] планируется строительство и реконструкция автомобильных дорог с твердым покрытием протяженностью 155,9 км, для чего потребуется 600–690 тыс. т асфальтобетона [5].

С учетом принципов устойчивого развития и современных концептуальных подходов к использованию природных ресурсов природные материалы в строительных изделиях стремятся заменить отходами производства. Поскольку объем промышленных отходов и затраты на их размещение продолжают увеличиваться, актуальность рассматриваемого вопроса возрастает. Строительство и реконструкция автомобильных дорог и искусственных сооружений требует больших объемов материалов, соответственно, дорожное хозяйство является перспективным потребителем крупнотоннажных отходов.

С технической и природоохранной точек зрения вторичные материалы должны использоваться таким способом, чтобы не ухудшать эксплуатационных и экологических характеристик автомобильных дорог. Отходы промышленности значительно различаются по типам и свойствам и, в результате, по возможному применению в дорожном хозяйстве. Использование отходов производства преимущественно развивается по следующим направлениям: производство асфальтобетона и цементобетона; сооружение оснований, насыпей и заполнение выемок и укрепление грунтов. В каждом из этих направлений возможен один или несколько вариантов использования материалов. Например, в цементобетоне материал может использоваться как заполнитель или как компонент вяжущего. В табл. 1 приведены основные направления применения отходов в дорожном строительстве [5].

Таблица 1

Основные направления применения отходов в дорожном строительстве

№ п/п	Направление	Вариант применения отходов
1	Производство асфальтобетона	Каменный материал как компонент минеральной части горячего, холодного асфальтобетона, смесей для поверхностных обработок, модификатор битума, минеральный порошок
2	Производство цементобетона	Заполнитель, дополнительный компонент смешанного вяжущего или дополнительный вяжущий компонент
3	Сооружение основания	
4	Сооружение насыпей и заполнение выемок	Заменитель природных каменных материалов
5	Укрепление грунтов	Заменитель природных грунтов, пуццолановые вяжущие, активаторы, самотвердеющие материалы
6	Приготовление закладочных смесей	Пуццолановые вяжущие, активаторы, самотвердеющие материалы

Наибольшее применение нашли следующие виды промышленных отходов: пыль из рукавных фильтров; доменные и сталелитейные шлаки; золошлаковые смеси; золы уноса; пустые породы; золы и шлаки от сжигания бытовых отходов (ТБО); шлаки цветной металлургии; отходы добычи каменных материалов; лом асфальто- и цементобетона; отходы кровельных материалов; изношенные шины; стеклобой и отходы производства стекла.

Для этих материалов и главных направлений использования могут быть предложены комбинации, наиболее целесообразные с технико-экономической точки зрения (табл. 2). Отсутствие сведений по каким-либо другим материалам или вариантам использования не должно рассматриваться как запрет на их использование. Известные направления переработки отходов производства требуют проведения исследований и уточнения технологических параметров с учетом физико-механических, физико-химических и токсикологических свойств отходов.

Таблица 2

**Характеристика материалов из отходов промышленности
для дорожного строительства [6]**

Вид промышленных отходов	Область применения	Вариант использования отходов
Доменный и сталелитейный шлак, золошлаковые смеси, горелые пески, пустые породы, золы и шлаки от сжигания бытовых отходов, шлаки цветной металлургии, лом асфальтобетона, отходы кровельных материалов, изношенные шины, стеклобой и отходы производства стекла	Приготовление горячих асфальтобетонных смесей	Каменный материал
Зола (не зола уноса), лом асфальтобетона	Приготовление холодных асфальтобетонных смесей	Каменный материал
Доменный и сталелитейный шлак, золошлаковые смеси	Приготовление смесей для поверхностных обработок	Каменный материал
Пыль рукавных фильтров, золы от сжигания бытовых отходов, цементная пыль, пыль, образующаяся при обжиге извести, золы уноса	Производство асфальтобетона	Минеральный порошок
Изношенные шины, отходы кровельных материалов	Производство асфальтобетона	Модификация битумного вяжущего

Окончание табл. 2

Вид промышленных отходов	Область применения	Вариант использования отходов
Лом цементобетона, различные виды шлаков	Производство цементобетона	Заполнитель
Каменноугольная зола уноса, доменные шлаки	Производство цементобетона	Дополнительный компонент смешанного вяжущего или дополнительный вяжущий компонент
Доменные шлаки, каменноугольные шлаки, пустые породы, золошлаки от сжигания ТБО, шлаки цветной металлургии, лом асфальто- и цементобетона, сталеплавильные шлаки, стеклобой	Сооружение оснований	Заполнитель, каменный материал
Золы уноса, пустые породы, шлаки цветной металлургии, лом асфальто- и цементобетона, изношенные шины	Сооружение насыпей и заполнение выемок	Искусственный грунт
Каменноугольные золы, шлаки, золошлаковые смеси гидроудаления	Укрепление грунтов	Искусственный грунт
Золы уноса, пыль печей для обжига минеральных вяжущих, сульфатсодержащие отходы	Укрепление грунтов	Вяжущий материал
Золы уноса и гидроудаления, горелые пески, мелкая фракция отходов добычи каменных материалов	Приготовление закладочных смесей	Заполнитель для смеси
Золы уноса, пыль печей для обжига минеральных вяжущих	Приготовление закладочных смесей	Вяжущий материал

С целью снижения негативного воздействия объектов размещения промышленных отходов на объекты окружающей среды в Пермском государственном техническом университете проводятся работы по определению возможности использования ряда промышленных отходов, характерных для Пермского края, в строительной отрасли.

В качестве промышленных отходов, обладающих ресурсным потенциалом, выбраны отходы черной металлургии (щебень из металлургических шлаков и песок из отсева дробления)

Чусовского металлургического завода (ЧМЗ) и отходы содового производства (шлак карбоната кальция) Березниковского содового завода (БСЗ). Определены химический состав, физико-химические, физико-механические и токсикологические свойства отходов. С учетом определенных показателей предложены методы и технологии изготовления из них строительных материалов. Определяющим критерием выбора технологии являлось снижение возможных эмиссий токсичных компонентов отходов.

Многотоннажным отходом металлургии являются доменные шлаки, рациональным способом переработки которых является изготовление шлакового щебня [7, 8]. Химический состав шлаков во многом зависит от вида получаемого чугуна. По результатам экспериментальных исследований определено, что в щебне из металлургических шлаков ЧМЗ содержатся токсичные тяжелые металлы: медь, ванадий, свинец и их оксиды [9]. Данный техногенный материал обладает такими же прочностными свойствами, что и природный щебень. В настоящее время шлак используют в дорожном строительстве для формирования слоев дорожной одежды и укрепления грунтов, что под воздействием атмосферных осадков, грунтовых и талых вод приводит к эмиссии тяжелых металлов в водные объекты и почву. Снизить эмиссию токсичных компонентов можно путем повышения гидрофобности компонентов смеси, что осуществляется при введении в минеральную смесь углеводородсодержащих компонентов – битумов. Смеси подобного состава используют для производства асфальтобетонов.

Требования к асфальтобетонным смесям, применяемым для покрытий и оснований автомобильных дорог на территории Российской Федерации, регламентируются ГОСТ 9128–84* «Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия». Асфальтобетонные смеси готовят смешением в смесительных установках в нагретом состоянии щебня (гравия), песка (природного, дробленого или из отсевов дробления), минерального порошка и нефтяного дорожного битума. Примерный состав асфальтобетонной смеси по массе: щебень 45–60 %, песок 20–45 %, минеральный порошок 5–15 %, битум 4–8 % [12].

Проведенные исследования свойств шламов содового производства, представляющего собой сыпучий порошок светлого цвета [10, 11], позволили предположить возможность замены минеральных порошков в составе асфальтобетонной смеси на отходы содового производства.

С целью определения возможности использования щебня из металлургических шлаков, песка из отсева дробления ЧМЗ и шлама карбоната кальция БСЗ в качестве компонентов асфальтобетонной смеси типа Б марки П были проведены экспериментальные исследования. Были определены свойства исходных материалов, подобран состав асфальтобетонной смеси, изготовлены образцы горячей плотной асфальтобетонной смеси и определены прочностные характеристики и коэффициент водостойкости полученных образцов асфальтобетона.

Физико-механические свойства щебня из металлургических шлаков ЧМЗ:

содержание пылевидных и глинистых частиц, % 1,4
 содержание глины в комках, % 0,0
 содержание зерен пластинчатой
 и игловидной формы в щебне, % 15,6
 группа щебня по содержанию зерен пластинчатой
 (лещадной) и игловатой формы, % 3
 марка по дробимости щебня (потеря по массе, %) 1200(7,0)
 марка по истираемости (потеря по массе, %) И1(13,6)
 содержание зерен слабых пород, % 0,0

Результаты определения зернового состава щебня приведены в табл. 3.

Таблица 3

Зерновой состав щебня из металлургических шлаков ЧМЗ

Размер отверстий сит, мм	Полные остатки на ситах, % по массе	Требования ГОСТ 8267–93 [13]
1,25 <i>D</i> (25 мм)	0,0	До 0,5
<i>D</i> (20 мм)	0,0	До 10
0,5 (<i>d</i> + <i>D</i>) 12,5 мм	51,2	30–60(80)
<i>d</i> 5 мм	93,6	90–100
2,5 мм	96,0	95–100

По физико-механическим свойствам и зерновому составу щебень из металлургических шлаков отвечает требованиям к щебню смеси фракций 5–20 мм, что обуславливает возможность его использования для горячих асфальтобетонных смесей [9].

Физико-механические свойства отсева дробления шлаков ЧМЗ, используемого в качестве замены песка:

содержание пылевидных и глинистых частиц, % 7,0
 содержание глины в комках, % 0,0
 содержание глинистых частиц набуханием, % 0,37

Характеристика зернового состава отсева дробления шлаков ЧМЗ представлена в табл. 4.

Таблица 4

Зерновой состав отсева дробления шлаков ЧМЗ

Размер отверстий сит, мм	Полные остатки на ситах, % по массе	Требования ГОСТ 8736–93 (песок II класса)
15	0,0	
10	0,6	< 5
5	8,4	< 20
2,5	35,8	
1,25	52,6	
0,63	69,6	65–75
0,315	80,2	
0,16	88,2	
0,071	93,0	

По результатам исследования определено, что песок из отсева дробления шлаков ЧМЗ пригоден для изготовления асфальтобетонных смесей.

Для шлама карбоната кальция БСЗ исследовали физико-механические свойства (табл. 5). Определено, что физико-механические свойства шлама карбоната кальция БСЗ соответствует требованиям, предъявляемым ГОСТ Р 52129–2003 для активированного порошка марки МП-1 и шлам может быть использован в качестве замены минерального порошка в составе асфальтобетонных смесей.

Таблица 5

Физико-механические свойства шлама карбоната кальция БСЗ

Измеряемый показатель	Ед. изм.	Требования	Результаты испытаний
Зерновой состав:	% по массе		
мельче 1,25 мм		Не менее 100	100
мельче 0,315 мм		Не менее 90	96,7
мельче 0,071 мм		От 70 до 80	79,7
Пористость	% по объему, не более	35	33,8
Набухание образцов из смеси порошка с битумом	% по объему, не более	2,5	1,05
Средняя плотность	г/см ³	–	1,80
Истинная плотность	г/см ³	–	2,72

Проведенные исследования показали, что для изготовления асфальтобетонной смеси могут быть использованы следующие техногенные материалы: щебень из шлаков ЧМЗ, песок из отсева дробления шлаков ЧМЗ, шлам карбоната кальция БСЗ.

Дальнейшими этапами исследований были: определение оптимального состава асфальтобетонной смеси (табл. 6) с разным содержанием компонентов, изготовление образцов и определение их физико-механических свойств.

Таблица 6

Компонентный состав асфальтобетонных смесей, %

Компонент	Состав 1	Состав 2	Состав 3	Состав 4
Щебень фракции 5–20 мм	40	40	40	40
Песок из отсева дробления фракции 0–5 мм	55	55	55	55
Минеральный порошок (неактивированный марки МП-1)	5	2	1	–
Шлам карбоната кальция	–	3	4	5
Битум марки БНД 60/90 (сверх 100 %)	5,3	5,3	5,3	5,3

Результаты исследования физико-механических свойств асфальтобетонных смесей различного состава представлены в табл. 7.

Таблица 7

Физико-механические свойства асфальтобетонных смесей

Наименование показателя	Требования	Состав 1	Состав 2	Состав 3	Состав 4
Средняя плотность, г/см ³	–	2,64	2,63	2,61	2,60
Водонасыщение, %	1,5–4,0	3,61	3,98	4,0	4,32
Предел прочности при сжатии, МПа:					
при 20°	Не менее 2,2	3,85	4,71	4,1	3,59
при 50°	Не менее 1,0	1,79	1,35	1,4	1,45
при 0°	Не более 12	9,02	10,1	8,4	7,66
Водостойкость	Не менее 0,85	0,85	0,76	0,85	0,92

По результатам проведенных экспериментальных исследований установлено, что прочностные характеристики смесей с различным содержанием компонентов техногенного происхо-

ждения (щебень из металлургических шлаков, песок из отсева дробления ЧМЗ и шлам карбоната кальция ВСЗ) соответствуют норме, что позволяет использовать их в качестве компонентов асфальтобетонной смеси.

Увеличение содержания шлама карбоната кальция в асфальтобетонной смеси с 3 до 5 % приводит к возрастанию водонасыщения образцов, следовательно, при содержании битума 5,3 % (свыше 100 %). Содержание шлама карбоната кальция нецелесообразно увеличивать более 4 %. Считаем, что увеличение содержания в составе асфальтобетонной смеси шлама карбоната кальция возможно при увеличении содержания битума более 5,3 %.

Результаты экспериментальных исследований показывают целесообразность проведения дальнейших работ по изготовлению асфальтобетонных дорожных покрытий с использованием щебня из металлургических шлаков, песка из отсева дробления ЧМЗ и шлама карбоната кальция ВСЗ. Для увеличения содержания в смеси шлама карбоната кальция более 4 % необходимо увеличить содержание битума более 5,3 %.

Использование отходов производства для изготовления асфальтобетонных дорожных покрытий позволяет снизить потребление природных материалов. На примере строительства автомобильных дорог Пермского края протяженностью 155,9 км использование техногенных материалов позволит предотвратить использование природного щебня в количестве 240–276 тыс. т, природного песка 330–380 тыс. т, минерального порошка 24–27,6 тыс. т.

Библиографический список

1. Перечень критических технологий Российской Федерации: утв. Президентом Российской Федерации 21 мая 2006 г. № Пр-842.
2. Приоритетные направления развития науки, технологий и техники в Российской Федерации: утв. Президентом Российской Федерации 21 мая 2006 г. № Пр-843.
3. Об утверждении Федеральной целевой программы «Модернизация транспортной системы России (2002–2010 годы)»: постановление Правительства РФ от 5 декабря 2001 г. № 848.
4. Об утверждении долгосрочной целевой программы «Совершенствование и развитие сети автомобильных дорог Пермского края на 2009–2013 годы: постановление правительства Пермского края от 6.03.09 г. № 138-п
5. ВСН 42-91. Нормы расхода материалов на строительство и ремонт автомобильных дорог и мостов.

6. Пособие по охране окружающей среды при производстве дорожно-строительных материалов [Электронный ресурс]. – М., 2002. – URL: <http://www.skonline.ru/doc/10206.html>.

7. Снижение экологической нагрузки при обращении со шлаками черной металлургии: моногр. / К.Г. Пугин, Я.И. Вайсман, Б.С. Юшков, Н.Г. Максимович. – Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 2008. – 315 с.

8. Калинина Е.В. Анализ методов утилизации доменных металлургических шлаков // Инновации в теории и практике обращения с отходами: материалы междунар. науч.-практ. конф., г. Пермь, 5–6 ноября 2009 г. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-т, 2009. – С. 113–119.

9. Пугин К.Г., Калинина Е.В. Миграция металлов в почву из изделий на основе металлургического шлака // Проблемы и перспективы развития Евроазиатских транспортных систем: материалы междунар. науч.-практ. конф., г. Челябинск, 12–13 мая 2009 г. – Челябинск, 2009. – С. 236–239.

10. Вайсман Я.И., Калинина Е.В., Петров В.Ю. Использование шлама содового производства в качестве изолирующего материала на полигонах ТБО // Экология и промышленность России. – 2011. – № 5. – С. 4–7.

11. Калинина Е.В., Рудакова Л.В., Петров В.Ю. Критерии оценки системы обращения с отходами производства кальцинированной соды // Экология и промышленность России. – 2011. – № 5. – С. 44–47.

12. ГОСТ 9128–2009. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия.

13. ГОСТ 8267–93. Смеси и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия.

Получено 19.05.2011