

Авторы:
Фукс Александр Владимирович
Канд.эконом.наук, зам ген.директора ООО «БФБ» (СКОЛКОВО)
Левашов Григорий Михайлович
канд.техн.наук, ген.директор МИП ООО «Дорожный
исследовательский центр СибАДИ»

Компания БФБ является резидентом фонда Сколково, входит в Группу компаний «ДОРНЕРУД», включающих в себя переработчиков шлаковых материалов, строительную организацию, команду проектировщиков, имеющих десятилетний опыт работы с шлаками черной металлургии Липецкой области. Все наши активности мы стараемся синхронизировать со стратегией государства в рамках Постановлений, Распоряжений Правительства, национальных проектов и отраслевых программ.

Основная цель команды поиск коммерчески привлекательных рынков для крупнотоннажного использования шлаковых продуктов. Приоритетным сегментом для нас безусловно является – дорожная отрасль. Понимая важность внедрения шлаковых материалов и достигаемый экологический и экономический эффект, в мае 2019 года нами был сформирован первый научно-технический шлаковый консорциум, представляющий собой коллаборацию всех небезразличных к этому вопросу сторон – ООО «БФБ», профильные ВУЗы (МАДИ, СибАДИ, ДГТУ, Горный университет Санкт-Петербург), ГК «АВТОДОР», ДСК «АВТОБАН», Металлургические предприятия.

Проводимая нами работа была разбита на несколько этапов:

1. Анализ и испытания шлаков на соответствие действующей нормативной документации с обязательным разделением по природе происхождения – доменные шлаки и сталеплавильный шлаки конвертерного производства Липецкой области;

2. На основе физико-механических свойств поиск комплексного применения в дорожных конструктивах, в откосах, в насыпях, при благоустройстве придорожных зон, при организации безопасности дорожного движения;

3. Испытания доменных и сталеплавильных шлаков Липецкой области в составах асфальтобетона в рамках комплексов стандартов ГОСТ 9128, ГОСТ 58401, ГОСТ 58406;

4. Испытания доменных и сталеплавильных шлаков Липецкой области в качестве несущих слоев оснований, укрепленных органическим, неорганическим и комплексным вяжущими;

5. Анализ эффективности использования вторичных ресурсов и методика расчета с использованием прямой экономии на стоимости шлаковых материалов и косвенной экономии за счет эмиссии CO₂.

Вся наша многолетняя работа увенчалась следующими постулатами:

- Шлаки черной металлургии могут применяться во всех без исключения конструктивных слоях автомобильных дорог!!!!
- Использование шлаков черной металлургии – Законно, Экономично, Экологично!!!

1 Основные сведения

В настоящее время в дорожной отрасли России происходят изменения фонда нормативных документов, направленные на совершенствование технических требований и методов испытаний дорожно-строительных материалов. Так требования к проектированию асфальтобетонных смесей в нашей стране нормируются тремя комплексами стандартов:

1. Межгосударственный стандарт ГОСТ 9128.
2. Комплекс национальных стандартов серии ГОСТ Р 58406.
3. Комплекс национальных стандартов серии ГОСТ Р 58401.

В данной научно-исследовательской работе рассмотрены первые два подхода к проектированию и испытанию асфальтобетонных смесей: ГОСТ 9128-2013 и ГОСТ Р 58406.2. Для проведения сравнительных испытаний по каждому из подходов изготовлено четыре группы асфальтобетонных смесей одного и того же типа, с одним и тем же гранулометрическим составом, то есть с одинаковым минеральным каркасом, но приготовленных на различных типах каменных материалов. Такой подход позволил количественно и качественно выявить влияние происхождения каменных материалов на характеристики получаемых из них асфальтобетонов.

Используемые для сравнительных испытаний группы асфальтобетонных смесей приведены в Таблица 1.1.

Таблица 1.1 – Компонентный состав минеральных частей асфальтобетонных смесей сравниваемых групп

Наименование группы	ПГП <i>смесь на природных горных породах</i>	СШЩ <i>смесь на шлаковом щебне</i>	ПМП <i>смесь на полиминеральном порошке</i>	ППП <i>смесь на промышленных побочных продуктах</i>
Крупный заполнитель	порфириновый щебень	щебень из сталеплавильного конверторного / доменного ¹ шлака	порфириновый щебень	щебень из сталеплавильного конверторного шлака
Мелкий заполнитель	отсев дробления порфиринового щебня	отсев дробления порфиринового щебня	отсев дробления порфиринового щебня	отсев дробления порфиринового щебня
Наполнитель (мин. порошок)	МП-1	МП-1	полиминеральный порошок из конверторного шлака	полиминеральный порошок из конверторного шлака

2 Оценка возможности применения шлаковых материалов в асфальтобетонных смесях

Поскольку целью настоящей работы является проверка пригодности шлаковых материалов для его применения в производстве асфальтобетонных смесей, была проведена интенсивная программа лабораторных испытаний. Испытания проводились с целью определения характерных свойств шлаковых материалов и оценки их в соответствии со стандартными техническими требованиями.

Оценка возможности применения шлакового щебня

Физико-механические характеристики исследуемых материалов свидетельствуют о возможности их применения для изготовления асфальтобетонных смесей по ГОСТ Р 58406.2 (Таблица 2.1) и по ГОСТ 9128 - 2013 (Таблица 2.2). При этом следует отметить, что оба эти документа в то или иной степени ограничивают применение шлакового щебня только в верхних слоях покрытия.

¹ Доменный шлак применяли только для приготовления асфальтобетонной смеси типа А32От

Так в соответствии с ГОСТ Р 58406.2 не допускается применение шлакового щебня для верхнего слоя покрытия (смеси АВ) на автомобильных дорогах с тяжелыми условиями движения, то есть при количестве приложений расчетной нормативной нагрузки АК-11,5 за расчетный срок службы конструктивного слоя более 1,8 млн. Дополнительным техническим критерием при выборе щебеночных материалов наряду с маркой по дробимости шлаковых щебней, для верхних слоев покрытий выступает требование по сопротивлению дроблению и износу. Анализируя фактические (полученные при входном контроле качества) физико-механические характеристики шлаковых щебней и требуемые параметры по ГОСТ Р 58406.2 можно установить области применения шлаковых щебней:

а) шлаковый щебень из сталеплавильных конверторных шлаков допускается использовать для изготовления:

- асфальтобетонных смесей для слоя основания без ограничений по условию движения (то есть для смесей типов АОл, АОн, АОт);

- асфальтобетонных смесей для нижнего слоя покрытия без ограничений по условию движения (то есть для смесей типов АНл, АНн, АНт);

- асфальтобетонных смесей для верхнего слоя покрытия для легких и нормальных условий движения (то есть для смесей типов АВл, АНн);

б) шлаковый щебень из доменных шлаков допускается использовать для изготовления:

- асфальтобетонных смесей для слоя основания без ограничений по условию движения (то есть для смесей типов АОл, АОн, АОт);

- асфальтобетонных смесей для нижнего слоя покрытия для легких и нормальных условий движения (то есть для смесей типов АНл, АНн);

Следует отметить, что шлаковый щебень из доменного шлака, в отличие от сталеплавильного конверторного шлака, не пригоден для асфальтобетонных смесей для верхнего слоя покрытия вне зависимости от условий движения из-за низкой марки по сопротивлению дроблению и износу.

Требованиями к применяемому щебню для изготовления асфальтобетонных смесей по ГОСТ 9128-2013 аналогичным образом вводятся ограничения на применение шлакового щебня, допуская его использование для любых асфальтобетонных смесей, за исключением плотной асфальтобетонной смеси типа А, марки I. При этом следует отметить, что требования по показателю марка по истираемости к шлаковому щебню не применяется.

Анализируя фактические (полученные при входном контроле качества) физико-механические характеристики шлаковых щебней и требуемые параметры по ГОСТ 9128-2013 можно установить области применения шлаковых щебней:

а) шлаковый щебень из сталеплавильных конверторных шлаков допускается использовать для изготовления:

– всех типов горячих асфальтобетонных смесей за исключением высокоплотных и плотных смесей типа А марки I.

б) шлаковый щебень из доменных шлаков допускается использовать для изготовления:

– горячих асфальтобетонных смесей I марки: пористых и высокопористых;

– горячих асфальтобетонных смесей II марки: плотных смесей типа В и пористых смесей;

– горячих асфальтобетонных смесей III марки: плотных смесей типа Б и В.

Оценка возможности применения минерального порошка из конверторных шлаков

Физико-механические характеристики минерального порошка из сталеплавильных конверторных шлаков (полиминерального порошка) для изготовления асфальтобетонных смесей по ГОСТ Р 58406.2 должны соответствовать требованиям ГОСТ 32761. Результаты испытаний и их сопоставление с МП-1 (из природной горной породы) приведены в Таблица 2.3.

Поскольку для изготовления полиминерального порошка используются твердые отходы промышленности, то данный порошок относится к марке МП-3 по ГОСТ 32761. Областью применения данного порошка являются «любые асфальтобетонные и органоминеральные смеси, кроме асфальтобетонных смесей I марки и щебеночно-мастичных смесей». При этом следует отметить, что ГОСТ Р 58406.2 не выделяет классификации асфальтобетонов на марки, и тем самым в настоящее время невозможно установить область применения минерального порошка марки МП-3 для изготовления асфальтобетонных смесей по ГОСТ Р 58406.2.

Для изготовления асфальтобетонных смесей по ГОСТ 9128-2013 минеральный порошок должен соответствовать требованиям ГОСТ Р 52129. В соответствии с ГОСТ Р 52129 полиминеральный порошок (из конверторных сталеплавильных шлаков) относится к марке МП-2 – порошки из твердых отходов промышленного производства. Применение которых допускается только для изготовления «асфальтобетонных смесей по ГОСТ 9128 марок II и III». Отсюда можно установить области применения полиминерального порошка:

– для всех типов горячих асфальтобетонных смесей за исключением смесей I марки.

Оценка возможности применения шлакового песка

Для оценки пригодности шлаковых песков для использования в качестве мелкого минерального заполнителя проведены точечные исследования асфальтобетонных смесей.

Как показали испытания, высокая пустотность шлаковых песков (более 50 %) и наличие в составе большого количества цементированных продуктов силикатного распада, обеспечивают высокую битумоемкость. Процентное содержание битума увеличивается по сравнению с традиционным песком на 2-3 %. Учитывая, что в отпускной цене асфальтобетонной смеси стоимостная составляющая битума является одной из основных, то широкомасштабное и повсеместное применение шлаковых песков не целесообразно, а возможно только при соответствующем технико-экономическом обосновании.

Опираясь на полученные заключения, дальнейший подбор составов всех асфальтобетонных смесей проводился с использованием песка из природных горных пород.

3 Результаты определения физико-механических характеристик асфальтобетонных смесей

3.1 Асфальтобетонная смесь крупнозернистая тип Б марки I по ГОСТ 9128-2013

Таблица 3.2 – Показатели свойств асфальтобетонных крупнозернистых смесей тип Б марки I

Наименование показателя	Требования ГОСТ 9128-2013	Значения для смесей			
		ПГП	СШЩ	ПМП	ППП
Физические показатели					
Средняя плотность, г/см ³	–	2,51	2,62	2,50	2,61
Водонасыщение, % по объему	от 1,5 до 4,0	1,6	1,6	1,8	2,6
Пористость минеральной части, %	от 14 до 19	15,3	15,6	15,1	15,3
Остаточная пористость, %	св.2,5 до 5,0	3,3	3,7	3,1	3,5
Прочностные показатели					
Предел прочности при сжатии 0°С, МПа	не более 11,0	7,5	7,6	7,4	7,5
Предел прочности при сжатии 20°С, МПа	не менее 2,5	3,6	4,2	3,6	3,8
Предел прочности при сжатии 50°С, МПа	не менее 1,2	1,5	1,6	1,9	1,7
Предел прочности при сжатии водонасыщенных образцов, МПа	–	3,3	3,8	3,5	3,6

Наименование показателя	Требования ГОСТ 9128-2013	Значения для смесей			
		ПГП	СШЩ	ПМП	ППП
Водостойкость	не менее 0,90	0,92	0,90	0,97	0,95
Водостойкость при длительном водонасыщении	не менее 0,85	0,90	0,90	0,92	0,91
Сдвигоустойчивость по:					
– коэффициенту внутреннего трения	не менее 0,81	0,85	0,90	0,87	0,85
– сцеплению при сдвиге при температуре 50°C, МПа	не менее 0,37	0,37	0,38	0,40	0,37
Трещиностойкость по пределу прочности на растяжение при расколе при температуре 0°C и скорости деформирования 50 мм/мин, МПа	от 3,5 до 6,0	4,3	4,5	4,4	4,7
Соответствии ГОСТ 9128-2013		соответствует			
<i>Дополнительные показатели эксплуатационные по ГОСТ Р 58406.3-2020</i>					
Средняя глубина колеи, мм					
– после 10 000 циклов	не норм.	11,6	12,8	9,6	9,3
– после 15 000 циклов	не норм.	13,4	14,7	11,8	10,9
Угол наклона кривой колееобразования	не норм.	0,71	1,27	0,92	0,67
Разрушающая нагрузка по Маршаллу, Н	не норм.	12 333	16 500	13 550	17 167
Деформация по Маршаллу, мм	не норм.	4,1	5,0	3,9	4,3

Заключение по крупнозернистой асфальтобетонной смеси тип Б марки I:

1. Физико-механические характеристики крупнозернистой асфальтобетонной смеси тип Б марки I, приготовленной с использованием щебня фракционированного и/или минерального порошка из сталеплавильных конверторных шлаков соответствуют требованиям ГОСТ 9128-2013.

2. ***Потребное количество битума по сравнению с природными каменными материалами не изменяется.***

Использование материалов из сталеплавильных конверторных шлаков в виде щебня и/или минерального порошка не приводит к повышенному содержанию битума в асфальтобетонной смеси, по сравнению с аналогичной смесью на природных материалах.

3. При использовании щебня из конверторного шлака водостойкость существенно не изменяется. Асфальтобетонные смеси на минеральном порошке из конверторного шлака характеризуются повышенной на 0,05 единицы водостойкостью.

При этом введение шлаковых материалов не влияет на водостойкость в условиях длительного водонасыщения, значение которой для всех сравниваемых смесей по предложенным рецептам остается существенно выше допускаемых ГОСТ 9128-2013 значений.

4. Удельный вес асфальтобетонной смеси при использовании щебня из сталеплавильных конверторных шлаков увеличивается на 4,5 %.

Средняя плотность асфальтобетонных смесей, в состав которых входит щебень фракционированный из конверторных шлаков (смеси с наименованием СШЩ и ППП), примерно на 4,5 % выше, чем смеси на природном порфириновом щебне.

5. Прочностные характеристики асфальтобетонных смесей на шлаковых материалах существенно не отличаются от смесей на природных материалах.

Предел прочности на сжатие, сдвигоустойчивость и трещиностойкость асфальтобетонных смесей на материалах из сталеплавильных конверторных шлаков в виде щебня и/или минерального порошка отличается от показателей смеси на природных материалах не более чем на 5 %. Существенный рост прочности (на 15 %) наблюдается лишь по показателю прочности на сжатие при 20 °С для асфальтобетонной смеси на щебне из конверторного шлака.

1. Совместное использование щебня и минерального порошка из конверторного шлака позволяет повысить эксплуатационные показатели асфальтобетона.

Асфальтобетонная смесь на щебне и минеральном порошке из конверторного шлака, обладает повышенной устойчивостью к колееобразованию (глубина колеи сократилась на 20 %), при росте на 40 % устойчивости по Маршаллу. Таким образом, можно констатировать повышенную устойчивость данной смеси к пластическим деформациям при повышенных температурах.

3.2 Асфальтобетонная смесь А16Вт по ГОСТ Р 58406.2-2020

Таблица 3.3 – Основные физические и эксплуатационные показатели исследуемых асфальтобетонов А16Вт

Наименование показателя	Требования ГОСТ Р 58406.2	Значения			
		ПГП	СШЩ	ПМП	ППП
Основные физические показатели					
Объемная плотность, г/см ³	–	2,468	2,614	2,466	2,590
Водонасыщение, % по объему	–	1,0	2,3	1,5	3,6
Количество воды по объему, поглощенное испытуемым образцом, %	–	0,5	0,8	0,8	1,4
Максимальная плотность, г/см ³	–	2,541	2,726	2,533	2,706
Содержание воздушных пустот, %	от 2,5 до 4,5	2,9	4,1	2,6	4,3
Пустоты в минеральном заполнителе (ПМЗ), %	не менее 12,0	13,0	12,7	13,5	13,8
Пустоты, наполненные битумным вяжущим (ПНБ), %	от 67,0 до 80,0	77,8	67,5	0,0	69,0
Основные эксплуатационные показатели					
Средняя глубина колеи, мм:					
– после 10 000 циклов	не более 4,0	3,1	3,5	3,3	4,0
– после 15 000 циклов	не норм.	3,4	3,8	3,6	4,3
Коэффициент водостойкости	не менее 0,85	0,92	0,89	0,91	0,86
Дополнительные эксплуатационные показатели					
Угол наклона кривой колееобразования, мм/1000 циклов	не более 0,15	0,06	0,15	0,15	0,15
Разрушающая нагрузка по Маршаллу, Н	не менее 8 010	12 767	12 267	12 533	15 067
Деформация по Маршаллу, мм	от 2,0 до 3,5	2,3	2,5	3,5	3,5
Предел прочности на растяжение при изгибе, МПа	не менее 7,0	13,85	13,82	14,13	13,03
Предельная относительная деформация растяжения	не менее 0,005	0,0072	0,0067	0,0063	0,0069

Заключение по асфальтобетонной смеси А16Вт:

1. Основные физические и эксплуатационные характеристики асфальтобетонной смеси А16Вт, приготовленной с использованием щебня фракционированного и/или минерального порошка из сталеплавильных конверторных шлаков соответствуют требованиям ГОСТ Р 58406.2.

2. При использовании щебня из конверторных шлаков увеличивается на 0,5 % потребное количество битума (по сравнению с природными каменными материалами).

Использование щебня из сталеплавильных конверторных шлаков (смесь СШЩ) приводит к повышенному на 0,5 % содержанию битума в асфальтобетонной смеси, по сравнению с аналогичной смесью на природных материалах. При этом смесь характеризуется предельно высоким показателем содержания воздушных пустот и предельно низким показателем пустот наполненных битумом, что свидетельствует о возможности дополнительного потребления битума на 0,25 %.

При использовании минерального порошка потребное количество битума по сравнению с природным МП-1 не изменяется.

3. При использовании щебня из конверторного шлака коэффициент водостойкости снижается.

Коэффициент водостойкость асфальтобетонных смесей при использовании щебня из конверторного шлака снижается, однако для предложенных рецептов остается в пределах допускаемых ГОСТ Р 58406.2 значений.

4. Удельный вес асфальтобетонной смеси при использовании щебня из сталеплавильных конверторных шлаков увеличивается на 6-7 %.

Объемная и максимальная плотность асфальтобетонных смесей, в состав которых входит щебень фракционированный из конверторных шлаков (смеси с наименованием СШЩ и ППП) на 6-7 % выше, чем смеси на природном порфириновом щебне.

5. Прочностные и эксплуатационные характеристики асфальтобетонных смесей на шлаковых материалах существенно не отличаются от смесей на природных материалах и полностью удовлетворяют требованиям ГОСТ Р 58406.2.

Совместное введение щебня и минерального порошка из конверторных шлаков привело к значительному повышению (на 18 %) устойчивости по Маршаллу. При этом следует обратить внимание, что применение минерального порошка из конверторных шлаков привело к существенному повышению деформации по Маршаллу, величина которой соответствует предельно допустимому значению для данного вида асфальтобетонной смеси.

3.3 Асфальтобетонная смесь типа А32От на доменном шлаке по ГОСТ Р 58406.2-2020

Таблица 3.4 – Основные физические и эксплуатационные показатели исследуемых асфальтобетонов А32От

Наименование показателя	Требования ГОСТ Р 58406.2	Значения			
		ПГП	СШЩ	ПМП	ППП
<i>Основные физические показатели</i>					
Объемная плотность, г/см ³	–	2,431	2,225	2,483	2,242
Водопоглощение, % по объёму	–	3,8	7,9	2,0	6,4
Количество воды по объёму, поглощенное испытуемым образцом, %	–	1,1	1,9	1,3	1,4
Максимальная плотность, г/см ³	–	2,536	2,409	2,570	2,411
Содержание воздушных пустот, %	от 3,0 до 7,0	4,1	7,6	3,4	7,0
Пустоты в минеральном заполнителе (ПМЗ), %	не менее 12,0	12,1	24,0	12,1	21,9
Пустоты, наполненные битумным вяжущим (ПНБ), %	от 66 до 76	66,0	68,1	71,7	68,0
<i>Основные эксплуатационные показатели</i>					
Средняя глубина колеи, мм:					
– после 10 000 циклов	не более 8,0	3,4	4,9	4,2	3,9
– после 15 000 циклов	не норм.	3,7	5,2	4,5	4,3
Коэффициент водостойкости	не менее 0,80	0,90	0,85	0,90	0,86
<i>Дополнительные эксплуатационные показатели</i>					
Угол наклона кривой колееобразования, мм/1000 циклов	не более 0,30	0,11	0,19	0,12	0,15
Предел прочности на растяжение при изгибе, МПа	не менее 5,5	15,92	13,55	11,75	12,78
Предельная относительная деформация растяжения	не менее 0,0040	0,004 6	0,0047	0,0048	0,0061
Разрушающая нагрузка по Маршаллу, Н	не норм.	11 100	14 833	10 800	13 333

Наименование показателя	Требования ГОСТ Р 58406.2	Значения			
		ПГП	СШЩ	ПМП	ППП
Деформация по Маршаллу, мм	не норм.	2,9	2,6	3,3	2,7

Заключение по асфальтобетонной смеси А32От:

1. Основные физические и эксплуатационные характеристики асфальтобетонной смеси А32От, приготовленной с использованием щебня фракционированного из доменных шлаков и минерального порошка из сталеплавильных конверторных шлаков соответствуют требованиям ГОСТ Р 58406.2.

С целью обеспечения требований по содержанию воздушных пустот в случае использования доменного щебня без полиминерального порошка следует придерживаться повышенного содержания мелких заполнителей (песка) в минеральном каркасе смеси, то есть использовать максимально допустимые значения на проходах через сито 4,0 мм (значений 50-55 %) для кривой зернового состава.

2. При использовании щебня из доменных шлаков увеличивается на 2,0 % потребное количество битума (по сравнению с природными каменными материалами).

Использование щебня из доменных шлаков (смесь СШЩ и ППП) приводит к повышенному на 2,0 % содержанию битума в асфальтобетонной смеси, по сравнению с аналогичной смесью на природных материалах. При этом смесь характеризуется предельно высоким показателем содержание воздушных пустот и предельно низким показателем пустот наполненных битумом, что свидетельствует о возможности дополнительного потребления битума на 0,25-0,5 %.

При использовании минерального порошка потребное количество битума по сравнению с природным МП-1 не изменяется.

3. При использовании щебня из доменного шлака коэффициент водостойкости снижается на 0,05 единицы.

Коэффициент водостойкость асфальтобетонных смесей при использовании щебня из доменного шлака снижается, однако для предложенных рецептов остается в пределах допускаемых ГОСТ Р 58406.2 значений.

4. Удельный вес асфальтобетонной смеси при использовании щебня из доменных шлаков снижается на 5-8 %.

Объемная и максимальная плотность асфальтобетонных смесей, в состав которых входит щебень фракционированный из доменных шлаков (смеси с наименованием СШЩ и ППП) на 5-8 % ниже, чем смеси на природном порфириновом щебне.

Следует обратить внимание, что в качестве сравниваемого заполнителя выступает высокопрочный, и довольно тяжелый порфиритовый щебень – не совсем характерный для данного типа асфальтобетонных смесей.

5. Прочностные и эксплуатационные характеристики асфальтобетонных смесей на шлаковых материалах существенно не отличаются от смесей на природных материалах и полностью удовлетворяют требованиям ГОСТ Р 58406.2.

Несколько завышенная колей и заниженная прочность на растяжение при изгибе для асфальтобетонных смесей на доменном шлаковом щебне по сравнению с природными каменными материалами, объясняется не «худшей» работой шлаков в асфальтобетоне, а необоснованно завышенными прочностными характеристиками природных материалов, используемых для изготовления эталонной смеси, не характерных для данного вида асфальтобетона.

При этом следует обратить внимание, что по всем эксплуатационным характеристикам асфальтобетонные смеси на доменном щебне демонстрируют практически двухкратное превышение установленных требований (глубина колеи и угол наклона кривой колееобразования 40 % и 60 %, соответственно, превосходят норму; предел прочности на растяжение при изгибе в 1,5 раза выше нормы). А также асфальтобетонные смеси на доменном щебне характеризуются превосходной устойчивостью по Маршаллу (подходящей под требования даже для верхних слоев покрытий), что свидетельствует о повышенной устойчивости данной смеси к пластическим деформациям при повышенных температурах.

4 Опытное строительство

С целью производственной апробации применения шлаковых материалов был устроен опытно-экспериментальный участок в рамках строительства скоростной автомобильной дороги М-12 «Москва-Казань». Совместно с СУ-910 (входит в состав холдинг «Автобан») была произведена адаптация полученных рецептов под производственные условия и устроено две опытно-экспериментальные секции на технологическом проезде 4 этапа строящейся автомобильной дороги М-12.

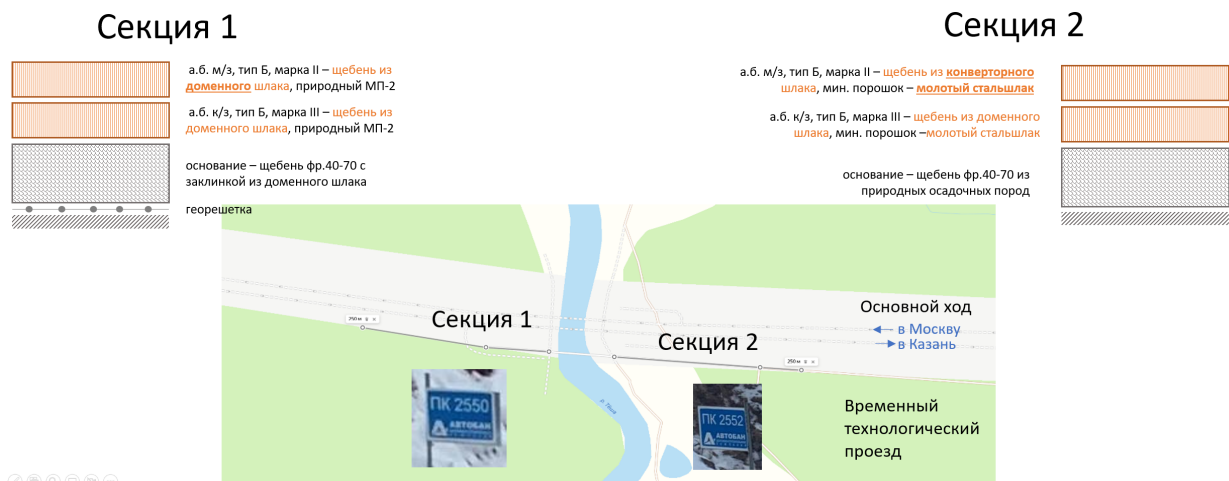


Рисунок 1 – Схема расположения секций опытно-экспериментального полигона



Асфальтобетонные слои покрытия опытно-экспериментальных секций подвергались экстремально тяжелым условиям эксплуатации, поскольку данный участок используется для съезда на временную паромную переправу и служит подъездом к грунтовому карьеру, тем самым через данный участок осуществляется движение всего задействованного технологического транспорта для строительства участка основного хода автомобильной дороги М-12.



По результатам мониторинга транспортно-эксплуатационного состояния через 1 год эксплуатации на поверхности покрытия каких-либо дефектов не выявлено.



Заключение:

Результаты научно-исследовательской работы свидетельствуют о возможности вовлечения вторичных материалов (фракционированного щебня и минерального порошка) из шлаков черной металлургии для изготовления асфальтобетонных смесей для всех без исключения конструктивных слоев дорожных одежд автомобильных дорог.