

УДК 625.7

Фомин А.Ю. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: fomin-al.78@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Асфальтобетон для дорожных работ на основе низкомарочного щебня, усиленного серой

Аннотация

Постановка задачи. Целью работы является разработка эффективного дорожного асфальтобетона на основе щебня из малопрочных невестребованных минеральных пород осадочного происхождения.

Результаты. На основе низкомарочного щебня из осадочных пород, получен высокопрочный строительный щебень марки М1000-1200, путем его поверхностной обработки расплавом серы. Установлено, что щебень обладает рядом положительных свойств: гидрофобностью, сравнительно высокой морозостойкостью и маркой по дробимости, низким водопоглощением. В результате взаимодействия асфальтового вяжущего с поверхностью частиц щебня, на границе раздела формируется градиентный слой, повышающий когезионную прочность структуры асфальтобетона. Установлено, что асфальтобетон на основе укрепленного щебня соответствует требованиям ГОСТ.

Выводы. Организация промышленного производства щебня, обработанного серой, и асфальтобетонов на его основе позволило бы снизить объем прямых затрат на приобретение высокопрочного щебня и из изверженных пород и его транспортировку, снизить сметную стоимость строительства и ремонта автомобильных дорог.

Ключевые слова: асфальтобетон, вяжущее, сера, щебень, усиление, структура.

Одним из возможных источников пополнения материальных ресурсов дорожно-строительной отрасли Российской Федерации является разработка, промышленное освоение и практическое применение серосодержащих строительных материалов. При этом речь идет не об использовании серы как балласта – в виде песка или грунта, а о материалах в которых сера, как основополагающий компонент обеспечивает высокий технический эффект – гидрофобность, сравнительно высокие прочность, морозостойкость, долговечность, присущие таким известным материалам как серный бетон, сероасфальтобетон и др.

Высокое качество изделий, простота технологии получения, а также низкая стоимость расходуемых материалов позволяют серным материалам быть конкурентоспособными по отношению к строительным материалам на традиционных вяжущих веществах.

Перспективным направлением применения серы является пропитка ее расплавом слабых, малопрочных материалов, имеющих капиллярно-пористую структуру, с целью их гидрофобизации и упрочнения. В практике уже известны способы пропитки серой изделий из цементобетона, керамических материалов, деревянных и железобетонных конструкций. В результате такой обработки в разы увеличиваются прочностные характеристики, снижается водопоглощение. Материал приобретает высокую коррозионную стойкость к растворам солей и кислот [1-4]. Однако в данных направлениях сама пропитка и последующее укрепление не реализованы как способ получения новых эффективных материалов, они имеют лишь узкую направленность, выраженную в повышении долговечности уже широко известных и применяемых материалов и изделий. А для обеспечения требуемого экономического эффекта в рассматриваемый способ должны вовлекаться местные материалы, слабые, не кондиционные, или побочные продукты, не нашедшие широкого применения, ввиду их не соответствия нормативным требованиям, но имеющие при этом крупнотоннажный потенциал, а также обладающие структурой, поверхностными свойствами, составом, располагающими к проявлению высокого синергетического эффекта при объединении с серой.

Так в Европейской части Российской Федерации и в частности на территории Республики Татарстан мало карьеров прочных минеральных пород – источников получения высокомарочного щебня, одного из основных материалов дорожного строительства. Щебень, производимый из них соответствует в основном маркам 200-400, реже 400-600, и не находит широко применения вследствие его низкой долговечности. Более прочный щебень, поставляется из других регионов. При этом потребность дорожно-строительной отрасли в щебне, например Республики Татарстан, составляет около 4 млн. м³ в год.

Существуют способы укрепления щебня из осадочных пород растворами лигносульфонатов пропитки битумами для придания гидрофобности и водостойкости.

Перспективным промышленным способом укрепления щебня из слабых пород является его пропитка расплавом серы с последующей его кристаллизацией в порах и образованием плотного слоя на поверхности зерна, толщиной 3-5 мм, обеспечивающего основной эффект упрочнения. Для его реализации есть следующие предпосылки.

Сера обладает рядом располагающих свойств: низкой температурой плавления 112,8-119,3°C, и вязкостью расплава ($6,5 \cdot 10^{-3}$ Па·с). В твердом, кристаллическом виде обладает достаточной механической прочностью, гидрофобностью, водостойкостью. Расплав серы способен глубоко проникать в капилляры материалов, и в процессе кристаллизации, при охлаждении, прочно соединяться с матрицей, образуя материал с взаимопроникающей структурой. В России ежегодно производится порядка 7 млн. тонн технической серы, образующейся в результате нефте- и газоочистки, с ежегодным приростом в среднем на 0,2 млн. тонн. Подавляющий объем выпуска такой «попутной» серы приходится на газовую промышленность. В Республике Татарстан основными «носителями» серы являются высокосернистые нефти. Так после запуска ОАО «ТАНЕКО» (г. Нижнекамск) (в 2012 году началось пробное опробование) ежегодный объем производства серы составляет около 300 тыс. т серы. Кроме того в республике имеются ресурсы газовой серы, получаемой в процессе газоочистки на предприятиях «Татнефтегазпереработка» и ОАО «Татнефть».

Кроме того, на территории Республики Татарстан имеется 340 месторождений карбонатных пород с общим запасом более 400 млн. тыс. м³, в том числе для производства малопрочного щебня пригодно – 180 млн. тыс. м³.

Учитывая вышеизложенное, мы полагаем, что разработка новых строительных материалов, на основе малопрочного щебня осадочных пород и серы является перспективной. В этой связи в работе рассматривается два направления исследований. Первое – получение высокопрочного щебня, второе – получение материалов на его основе, в составе которых традиционно применяются щебни из прочных горных пород. Таковыми являются дорожные асфальтобетоны. Во втором случае предполагается совместить две технические задачи – пропитку щебня и производство асфальтобетонной смеси в одном производственном цикле.

В качестве объекта исследований рассматривался щебень из осадочных пород Альдермышского месторождения Республики Татарстан. Его характеристики представлены в табл. 1.

Таблица 1

Технические характеристики щебня Альдермышского месторождения РТ фракции 5-20 мм

№	Наименование характеристик	Численные показатели
1	Марка по дробимости	300
2	Морозостойкость, циклов не менее	25
3	Марка по истираемости	ИЗ
4	Водопоглощение, %	2,0-7,5
5	Пористость, %	9,5-27,5

Согласно требованиям действующего СП 34.13330.2012 и дорожно-строительной классификации, такой данный щебень не пригоден для целей дорожного строительства, в том числе строительства дорог низших IV и V технических категорий.

Для изучения эффективности пропитки щебня расплавом серы исследовались фракции 5-10, 10-20 и 40-70 мм. В ходе эксперимента предварительно нагретый до

рабочей температуры 155 °С щебень совмещался с расплавом серы. Далее по завершении процессов охлаждения и кристаллизации серы производилось исследование структуры и определение физико-механических показателей свойств укрепленного щебня.

Рентгенографические исследования показали что сера, находящаяся в порах и капиллярах зерен щебня имеет кристаллическую структуру и соответствует аллотропной ромбической α -(альфа) модификации серы.

Данные, представленные на кинетических зависимостях, отражают высокую эффективность укрепления щебня серой, выраженную в сравнительно высоких показателях марки по дробимости, достигающей значения марки 1200 (рис. 1). Основной особенностью пропитки известнякового щебня серой является физический процесс лиофильно-лиофобного взаимодействия компонентов. Леофильная поверхность известняка впитывает лиофобный расплав серы, имеющий низкий краевой угол смачивания и обеспечивающий высокую адгезию между ними. Это свойство «средства» известняка и расплава серы объясняет высокие прочностные показатели пропитанных образцов.

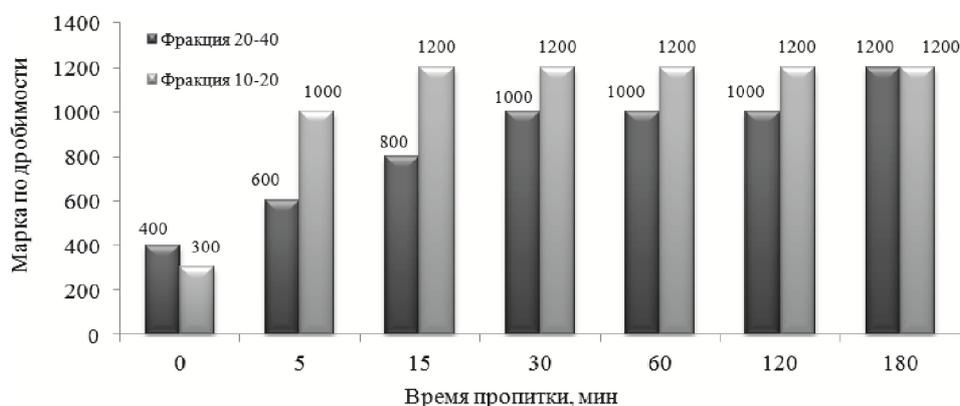


Рис. 1. Кинетическая зависимость марки по дробимости укрепленного щебня

Образующийся в результате пропитки известнякового щебня расплавом серы градиентный приповерхностный слой с более плотной структурой препятствует проникновению воды в поровое пространство срединного «ядра» и обеспечивает его надежное капсулирование. При этом показатель водопоглощения пропитанного щебня монотонно убывает в зависимости от времени пропитки.

Показатель истираемости обработанного щебня снижается в среднем на 18,5 % и соответствует марке И1, марка по морозостойкости – F300.

В ходе проведения экспериментальных исследований было установлено основное требование к исходному сырью. Оно таково, что поверхность зерен щебня должна быть чистой. Не желательно наличие глинистых частиц в структуре. Гидрофильная глина, пропитанная серой склонна к набуханию в водной среде, что снижает эффект упрочнения в среднем на 30 %. Анализируя полученные результаты, мы полагаем, что полученный укрепленный щебень может применяться в дорожном строительстве в качестве материала для устройства оснований автомобильных дорог, подстилающих дренажных слоев, покрытий переходного типа, а также в качестве крупного заполнителя в составе асфальтобетонных смесей.

В практике дорожного строительства известно применение серосодержащих асфальтобетонных смесей, производимых на основе вяжущего серобитума – материала, включающего 20...40 масс. % серы. В наших исследованиях установлено, что введение серы в битум способствует некоторому повышению прочности и теплостойкости вяжущих и асфальтобетонов на их основе, что, безусловно, позволяет сократить расход битума. Вместе с тем, сера ограниченно совмещается с битумом и поэтому при охлаждении совместного расплава выделяется в отдельную фазу, играя роль дисперсного наполнителя, снижающего его пластичность, что отражается на уменьшении показателя растяжимости в 7...8 раз, повышении температуры хрупкости в среднем в 2 раза, снижении способности вяжущего к деформациям. Структура серобитума в отвержденном

состоянии является наполненной двухфазной системой, а введение наполнителей в битум и полимеры уменьшает скорость развития деформаций в теле материала в тем большей степени, чем выше его содержание [5-9].

Мы полагаем, что применение щебня укрепленного серой в составе асфальтобетонной смеси позволит сохранить реологические свойства битума, обеспечить высокую когезионную прочность в структуре материала, получить новые эффективные составы серосодержащих асфальтобетонов.

Так как сера является гидрофобным материалом, важным является определение степени адгезии битума к поверхности обработанного щебня. Известно, что щебень из осадочных горных пород имеет пористую развитую текстуру поверхности, в результате чего и обладает хорошими адгезионными свойствами с битумом. Для установления закономерности изменения свойств сцепления битума с обработанным щебнем, были изготовлены несколько составов его образцов: щебня необработанного серой, щебня, обработанного серой, с погружением в расплав битума после обработки, щебня обработанного серой, с погружением в битум после охлаждения при нормальных условиях, щебня, обработанный серой и мелким кварцевым песком и щебня осадочного происхождения, обработанного серой и активированным минеральным порошком.

Как показали результаты экспериментов, проведенных в соответствии с методикой ГОСТ 11508-74, обработка поверхности частиц щебня серой не оказывает отрицательного воздействия на степень его сцепления с битумом.

С применением методов математического планирования эксперимента была разработана матрица, учитывающая два переменных критерия: содержание вяжущего и массовое соотношение щебня фракций 5-10, 10-20 мм в составе минеральной части асфальтобетонной смеси.

Одним из наиболее применяемых типов асфальтобетонов в Республике Татарстан является горячий мелкозернистый плотный асфальтобетон типа Б марки I и II производимый по ГОСТ 9128-2013. При этом требования к свойствам крупного заполнителя в составе таких асфальтобетонов таковы, что минимальное значение марки щебня по дробимости должно быть не менее М 1000. Щебень, обработанный серой соответствует данной марке.

На основе полученных рецептур были приготовлены составы асфальтобетонов типа Б, марки II и исследованы их свойства. Количество вводимой в смесь щебня серы варьировалось в пределах 10...30 масс. %. Анализ физико-механических показателей свойств полученных асфальтобетонов показал, что они находятся на сравнительно высоком уровне и превышают минимальные требования ГОСТ 9128-2013. Так пределы прочности при сжатии при 20⁰ и 50⁰С выше нормативных требований в 1,5...2 раза и составили 3,5...5,5 и 1,3...2,0 МПа соответственно (рис. 2).

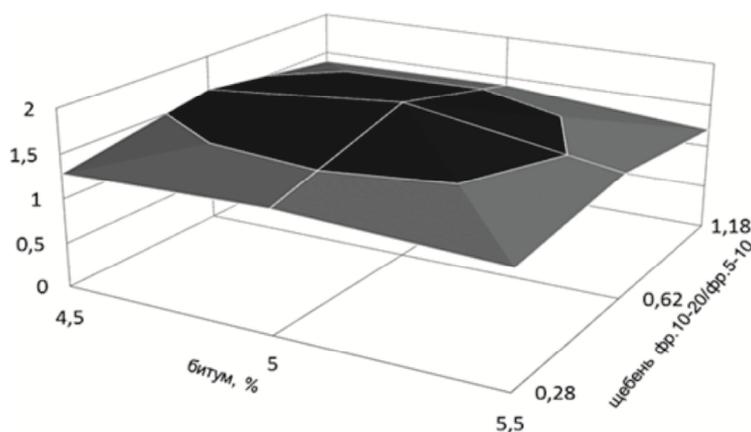


Рис. 2. Концентрационная зависимость прочности асфальтобетонов

Водонасыщение, в сравнении с асфальтобетоном на основе исходного необработанного щебня, снизилось в 4, 5 раза (рис. 3).

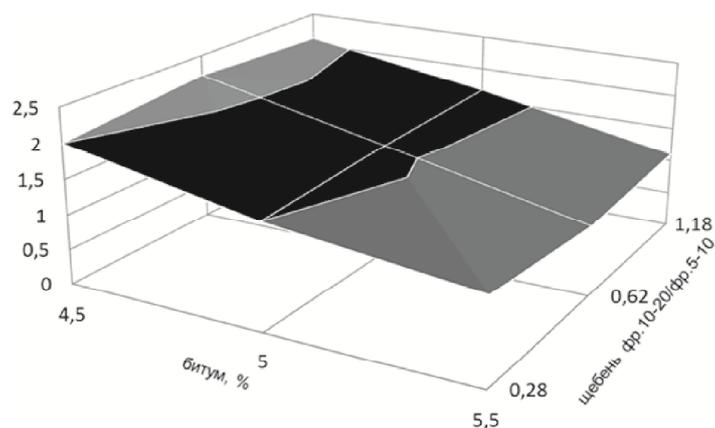


Рис. 3. Концентрационная зависимость водонасыщения асфальтобетонов

Количество циклов нагружения, при испытании на усталостную прочность, в сравнении, с асфальтобетоном на гранитном заполнителе возрастало в 2 раза (табл. 2), что косвенно свидетельствует о сохранности физико-механических показателей свойств асфальтобетона в процессе его эксплуатации и повышении его долговечности. Численное значение показателя усталостной прочности, равное 9 циклам свойственно полимерасфальтобетонам, характеризующимся как наиболее стойким к воздействию транспортных нагрузок и внешней среды, имеющим сравнительно широкий температурно-деформационный интервал работоспособности [10, 11]. Установлено, что оптимальное содержание укрепленного щебня фракций 5-10 мм в составе асфальтобетонной смеси составляет 16 масс. %, и 26 масс. % фракции 10-20 мм соответственно.

Таблица 2

Сравнительные показатели физико-механических свойств асфальтобетонов

Состав асфальтобетона	ρ , г/см ³	W, %	Усталостная прочность, цикл.	Предел прочности при сжатии, МПа				K_B
				R_0	R_{20}	R_{20}^B	R_{50}	
АБ на основе осадочного щебня	2,34	9,01	3	7,80	2,10	1,60	0,85	0,76
АБ на основе осадочного щебня, укрепленного серой	2,37	2,00	9	8,90	3,68	3,60	1,40	0,98
АБ на основе гранитного щебня	2,53	1,70	5	8,50	3,66	3,54	1,20	0,97
Требования ГОСТ 9128 -2013	-	1,5-4,0	-	<12,0	>2,2	-	>1,0	>0,85

Целью дальнейших исследований является изучение истираемости щебня обработанного серой по методике Микро-Дюваль, долговечности асфальтобетонов новых составов с применением современных методов оценки процессов колееобразования, морозостойкости, стойкости к воздействию истирающих нагрузок в результате воздействия шипованных шин на покрытие, химической стойкости к средам, образованным противогололевыми материалами, применяемыми в период зимнего содержания автомобильных дорог.

Список библиографических ссылок

1. Токтибаева Х. Р., Бежигитова К. А., Джаппарова М. Т., Сатывалдиев А. С., Имангалиев Т. А., Серкебаев М. К. Получение серного бетона из комовой серы – отхода добычи углеводородного сырья // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 2 (16). С. 352–353.
2. Михеева М. В., Черезова Е. Н., Фомин А. Ю. Использование серы и отходов нефтехимической промышленности в качестве вяжущего : сб. ст. Международной

- научно-технической V WEB-конференции «Композиционные материалы» / Киев, 2010. С. 321–326.
3. Михеева М. В. Черезова Е. Н., Хозин В. Г., Фомин А. Ю. Вяжущее для бетонов на основе сополимеров серы и нефтеполимерной смолы // Строительные материалы. 2010. № 5. С. 54–56.
 4. Усов Б. А., Волгушев А. Н. Технология модифицированных серных бетонов. М. : МГОУ, 2010. 321 с.
 5. Dah-yinn L. Modificatoin of asphalt and asphalt paving mixtures by sulfur additives Dah-yinn // Ind. And. Eng. Chem. Proc. Res and Develop. 1975. № 3. P. 171–177.
 6. Sulfur may be enrout to partially replacing asphalt in highway pavements // Chem. long. 1977. № 15. Part 1. 52 p.
 7. Sulfurasphalt pavement improved with silicones // Highway and Hauvy Constr. 1978. № 2. P. 104–106.
 8. Галдина В. Д. Серобитумные вяжущие: монография. Омск : СибАДИ, 2011. 124 с.
 9. Способ получения серобитумного вяжущего: пат. 2159218 Рос. Федерация. № 2000102780/03; заявл. 03.02.2000; опубл. 20.11.2010, Бюл. № 32. 3 с.
 10. Хафизов Э. Р., Семенов Д. Ю. Повышение качества дорожных покрытий путем введения в щебеночно-мастичную асфальтобетонную смесь добавок резиновой крошки // Известия КГАСУ, 2017, № 2 (40). С. 305–311.
 11. Хафизов Э. Р., Фомин А. Ю. Применение полимерасфальтобетонных покрытий на автомобильных дорогах Республики Татарстан // Известия КГАСУ, 2015, № 4 (34). С. 312–316.

Fomin A.Yu. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: fomin-al.78@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Asphaltic concrete for road works based on low-quality crushed stone, reinforced with sulfur

Abstract

Problem statement. The aim of the work is the development of effective road asphalt based on crushed stone from low-strength unclaimed mineral rocks of sedimentary origin.

Results. Based on low-quality crushed stone from sedimentary rocks, a high-strength construction crushed stone of grade M1000-1200 was obtained, by its surface treatment with a melt of sulfur. It is established that crushed stone has a number of positive properties: hydrophobicity, a relatively high brand of crushing and frost resistance, low water absorption. As a result of the interaction of the asphalt binder with the surface of the gravel particles, a gradient layer is formed at the interface, which increases the cohesive strength of the asphalt concrete structure. It is established that asphalt concrete on the basis of reinforced rubble meets the requirements of GOST.

Conclusions. The organization of industrial production of crushed stone treated with sulfur and asphalt concretes on its basis would allow reducing the amount of direct costs for the purchase of high-strength crushed stone and from igneous rocks and its transportation, reduce the estimated cost of construction and repair of highways.

Keywords: asphaltic concrete, binder, sulfur, crushed stone, reinforcement, structure.

References

1. Toktibaeva H. R., Bekzhigitova K. A., Dzhapparova M. T., Satyvaldiev A. S., Imangaliev T. A., Serkebaev M. K. Obtaining sulfuric concrete from sulfuric sulfur-waste of hydrocarbon raw materials extraction // Fundamental research. 2015. № 2 (16). P. 352–353.

2. Mikheeva M. V., Cherezova E. N., Fomin A. Yu. The use of sulfur and waste petrochemical industry as a binder: Sat. Art. V WEB-conference «Composite Materials» / International Scientific and Technical. Kiev, 2010. P. 321–326.
3. Mikheeva M. V. Cherezova E. N., Khozin V. G., Fomin A. Yu. The binder for concretes based on copolymers of sulfur and petroleum resin // Building materials. 2010. № 5. P. 54–56.
4. Usov B. A., Volgushev A. N. Technology of modified sulfur concretes. M. : MGOU, 2010. 321 p.
5. Dah-yinn L. Modificatoin of asphalt and asphalt pawing mixtures by sulfur additives. Dah-yinn // Ind. And. Eng. Chem. Proc. Res and Develop. 1975. № 3. P. 171–177.
6. Sulfur may be enrout to partially replacing asphalt in highway pavements // Chem. long. 1977. № 15. Part 1. 52 p.
7. Sulfurasphalt pavement improved with silicones // Highway and Hauvy Constr. 1978. № 2. P. 104–106.
8. Galdina V. D. Serobitum binders: monograph. Omsk : SibADI, 2011. 124 p.
9. A method for producing a sulfur bituminous binder: Pat. 2159218 Rus. Federation. № 2000102780/03; claimed. 03.02.2000; publ. 20.11.2010, Bul. № 32. 3 p.
10. Khafizov E. R., Semenov D. Yu. Improving the quality of road surfaces by adding rubber crumb additives to the crushed-mastic asphalt-concrete mixture // Izvestiya KGASU, 2017, № 2 (40). P. 305–311.
11. Hafizov E. R., Fomin A. Yu. Application of polymer-concrete coatings on highways of the Republic of Tatarstan // Izvestiya KGASU, 2015, № 4 (34). P. 312–316.