

УДК 691.16:678

## Сероасфальтобетон

**Г.В. Василевская\***, **Д.Р. Назиров**  
*Сибирский федеральный университет,  
Россия 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79*<sup>1</sup>

Received 2.12.2011, received in revised form 9.12.2011, accepted 16.12.2011

*Исследовали влияние серы в составе серобитумного вяжущего на свойства асфальтобетона. На основе местных минеральных заполнителей, битума Ачинского НПЗ и технической серы Норильского комбината были рассчитаны и приготовлены составы дорожного асфальтобетона. В качестве минерального порошка применяли кеки – порошкообразные отходы Красноярского завода «Красцветмет». Для сравнения результатов был приготовлен состав асфальтобетона на «чистом» битуме. Исследования показали, что введение серы в асфальтобетон приводит не только к экономии битума, но и к повышению его основных физико-механических свойств. Рекомендованы составы сероасфальтобетона для производственного внедрения. Обоснованы основные технологические параметры заводской технологии приготовления сероасфальтобетона и укладки его в дорожное покрытие.*

*Ключевые слова: асфальтобетон, серобитумное вяжущее, сера Норильского комбината, битум Ачинского НПЗ, дорожное покрытие, технологические параметры.*

### Введение

Идея применения серы в дорожном строительстве относится к началу XX в. Впервые метод модифицирования битума серой получил своё промышленное использование уже 100 лет тому назад. Необходимо отметить, что крупнейшим производителем серы считается Россия.

В связи с этим вновь возник интерес к использованию серы в дорожном строительстве, так как добавление серы в битум позволяет не только увеличить общее количество дорожного вяжущего, но и повысить его качество [1]. Этот интерес, с одной стороны, обусловлен повышением цен на нефтяные битумы, а с другой, что существенно важно, является следствием поиска путей решения проблемы утилизации серы и серосодержащих отходов в промышленности. Причем объем производимой серы и этих отходов в настоящее время превысил спрос на нее.

Специфика серы как материала для дорожного строительства состоит в том, что она может выполнять несколько функций: использоваться в качестве самостоятельного вяжущего, его компонента, а также как заполнитель в сочетании с битумом. Проведенный анализ литературных источников [1-5] показал актуальность проблемы исследования влияния серы на структурообразование и реологические свойства битума и приготовленного на нем асфальтобетона с учетом свойств покрытия с повышенной деформативностью при отрицательных

\* Corresponding author E-mail address: vasgv21n@mail.ru

<sup>1</sup> © Siberian Federal University. All rights reserved

температурах и повышенной устойчивостью против возникновения колеи при повышенных летних температурах.

В Норильском индустриальном институте проведены исследования технической серы, на которую получены санитарно-эпидемиологическое и гигиеническое заключения [6]. Исследования влияния серы в составе серобитумного вяжущего (СБВ) на свойства асфальтобетона проводили на наиболее распространенном в дорожном строительстве мелкозернистом горячем асфальтобетоне типа Б с плотной структурой для верхнего слоя дорожного покрытия. В данной работе необходимо было решить следующие научные задачи:

- изучить возможность получения серного вяжущего на основе отходов Норильского комбината – технической серы, а также отходов цветной металлургии – кеков завода «Красцветмет»;
- разработать и исследовать составы сероасфальтобетона с частичной или полной заменой битума на серобитумное вяжущее;
- выбрать оптимальные составы и дать предложения по технологии приготовления сероасфальтобетона и укладки его в дорожное покрытие.

Выпуск сероасфальтобетона на основе местного сырья и отходов промышленности должен способствовать решению таких важных проблем, как:

- удовлетворить потребности региона в дорожно-строительном материале;
- снизить себестоимость асфальтобетона;
- снизить эксплуатационные затраты за счет повышения качества и долговечности дорожных покрытий;
- улучшить экологическую обстановку за счет утилизации отходов.

## 1. Материалы

В работе изучалась техническая сера – отход ОАО «ГМК Норильский никель». В качестве вяжущего применялся битум марки БНД 90/130 Ачинского нефтеперерабатывающего завода.

Минеральную смесь для асфальтобетона готовили из щебня Березовского карьера и из песка карьера «Песчанка» г. Красноярска. В качестве минерального порошка применяли кеки – порошкообразный отход Красноярского завода «Красцветмет». Химический состав кеков приводится в табл.1. Основное назначение кеков сводится к заполнению межзерновых пустот между щебнем и песком, т.е. к обеспечению надлежащей плотности асфальтобетона. Также кеки являются структурной составляющей асфальтобетона, образующей совместно с битумом «асфальтовяжущее вещество», сцепляющее минеральные зерна. В работе [6] изложены способы модификации серы. Как показали исследования, проводимые автором этой работы, улучшение свойств серного вяжущего можно достичь методами химического и температурного модифи-

Таблица 1. Химический состав кеков

Химический состав, % массы								
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	N <sub>2</sub> O	Cl	п.п.п.
1,34	0,28	17,58	33,24	0,96	7,40	2,26	9,86	35,2

цирования. Здесь же показано, что введение в качестве модификатора йода приводит к переводу части серы в полимерное (аморфное) состояние. В нашей работе также использовался кристаллический йод.

## 2. Проектирование состава сероасфальтобетона

Сероасфальтобетон проектируется так же, как и обычные асфальтобетонные смеси, применяются стандартные методы проектирования.

В основе проектирования сероасфальтобетона (САБ) лежит принцип сохранения постоянства объема вяжущего, т.е. независимо от количества серы общий суммарный объем СБВ должен быть равен объему нефтяного битума без добавки серы. Только при соблюдении этого условия обеспечивается оптимальная поровая структура асфальтобетона.

Зерновой состав минеральной части сероасфальтобетона проектируется по принципу оптимального уплотнения минерального материала, т.е. так же, как и для асфальтобетона на обычном битуме [8]. Минеральную смесь сероасфальтобетона проектировали по кривым оптимального уплотнения для мелкозернистого асфальтобетона с плотной структурой.

С использованием вышеперечисленных минеральных заполнителей и кеков был подобран состав мелкозернистого сероасфальтобетона типа Б, который обычно применяется для укладки верхнего слоя дорожных асфальтобетонных покрытий. Расчет состава асфальтобетона заключался в определении наилучшего соотношения между составляющими материалами: щебнем, песком, порошком кеков и битума. Принцип этого метода исходит из положения зависимости прочности и других свойств асфальтобетона от плотности минеральной смеси при оптимальном количестве битума. Последнее обычно устанавливается опытным путем по наибольшей прочности образцов и другим показателям качества, удовлетворяющим требованиям стандарта.

После подбора оптимального состава асфальтобетона на нефтяном битуме устанавливали дозировку серы. Поскольку плотность серы в два раза превышает плотность битума, необходимо корректировать оптимальное содержание СБВ (В) в сероасфальтобетоне по формуле

$$B = \frac{B_1 \times 100}{p_B \times \left( \frac{c}{p_c} + \frac{b}{p_b} \right)}, \quad (1)$$

где  $B_1$  – оптимальное количество битума в смеси, установлено при проектировании состава в % по массе;  $c$  и  $b$  – доля соответственно серы и битума в вяжущем, %;  $p_c$ ,  $p_b$  – плотность соответственно серы и битума, мг/м<sup>3</sup>.

Количество битума  $B$  (в %) в смеси определяли по формуле

$$B = \frac{V \times b}{100}. \quad (2)$$

Количество серы  $C$  (в %) в смеси определяли по формуле

$$C = \frac{V \times c}{100}. \quad (3)$$

Оптимальное содержание СБВ в асфальтобетоне определяли для следующих содержаний серы в СБВ: 20 и 40 %. По нашему мнению, асфальтобетон, приготовленный с таким содержанием серы, будет наиболее полно представлять механизм влияния серы на свойства асфальто-

Таблица 2. Составы сероасфальтобетона

Содержание компонентов, %	Номера составов			
	1	2	3	4
Щебень	55	55	55	55
Песок	40	40	40	40
Кеки	5	5	5	5
Вязущее	6,8	16	16	30
Состав вяжущего, %: битум	80	60	-	-
сера	20	40	100	100
Йод кристаллический, в % от массы серы	0,007	0,007	0,007	0,007
Вид смеси	уплотняемая	литая	уплотняемая	уплотняемая

бетона. Содержание 40 % серы является границей положительного влияния серы на свойства СБВ, а тем самым и на свойства асфальтобетона. СБВ с содержанием серы 20 % должен иметь хорошие показатели в ряду всех составов битум-сера. Поскольку одной из главных задач работы является существенная экономия битума, то в связи с этим рассматривали составы асфальтобетона на «чистой» сере без добавок битума.

Для сравнения свойств был приготовлен состав асфальтобетона на битуме без добавок серы. Исследованные составы сероасфальтобетона приводятся в табл. 2.

### 3. Приготовление сероасфальтобетона

При использовании серы для изготовления асфальтобетона необходимо точно соблюдать температурный режим технологических процессов. Температура – это фактор, который имеет большое значение и оказывает определяющее влияние на ход реакции серы с битумом. Как известно, битум является коллоидно-дисперсной системой, которая состоит преимущественно из асфальтенов, создающих дисперсную фазу, и насыщенных углеводородов (называемых парафиновыми маслами), которые образуют жидкую фазу и стабилизируют систему ароматично-нафталиновых веществ (смола). Введение серы в битум способствует процессу дегидрогенизации углеводородных цепей, и в связи с этим они поддаются циклизации, что приводит к повышению количества соединений асфальтенового типа. Исследования [1] показали, что масла, содержащиеся в битуме, начинают реагировать с серой при температуре выше 130 °С, а асфальтены – при температуре в диапазоне от 140 до 150 °С. Это определяет граничные температуры производства СБВ и температурные режимы технологического процесса. Нижнюю температурную границу в технологическом процессе определяет температура плавления серы (около 120°С). В связи с этим предел технологических температур очень узкий. Технологические процессы должны происходить при температуре от 130 до 140 °С. В этом диапазоне температур вредные сернистые газы практически не оказывают влияние на здоровье человека. Поэтому приготовление асфальтобетонной смеси проводили следующим образом: в отдельной емкости разогревали битум до температуры 130-140 °С и также в отдельной емкости разогревали серу до температуры 120-130 °С. В раствор разогретой серы вводили модификатор – кристаллический йод. Время перемешивания серы с модификатором составляло 5-10 мин. Затем вливали жидкую модифицированную серу в горячий битум и перемешивали около 10 мин.

Заполнители (щебень и песок) и кеки грели до температуры 140 °С. Составляющие (щебень, песок, кеки и битум с модифицированной серой) перемешивали при температуре 135 °С в течение 5-10 мин. Следует учитывать, что температура составляющих и сероасфальтобетонной смеси не должна превышать 140 °С, чтобы исключить выделение вредных газов сероводорода ( $H_2S$ ) и двуокиси серы ( $SO_2$ ). Эта температура, как уже отмечалось, значительно ниже, чем при получении обычного асфальтобетона. Во время приготовления асфальтобетона с СБВ не было обнаружено выделения вредных газов. Наблюдения показали, что применение СБВ приводит к ускорению процесса обволакивания вяжущим зерен минеральной смеси, а тем самым и к быстрейшему получению асфальтобетонной смеси.

#### 4. Свойства сероасфальтобетона

Для определения свойств сероасфальтобетона использовали образцы – цилиндры с размерами  $d=h=71,4$  мм. Формование образцов проводили в металлической форме с двумя вкладышами, нагретой до температуры 90 – 100 °С. Образцы уплотнили на прессе при давлении 40 МПа в течение 3 мин. Сероасфальтобетон состава №2 заливали в формы без уплотнения.

Определение физико-механических свойств асфальтобетона проводили в соответствии с ГОСТом [9]. Физико-механические свойства сероасфальтобетона даны в табл. 3, где можно видеть, что при увеличении содержания серы в асфальтобетоне происходит увеличение прочности при сжатии при 20 и 50 °С. Сероасфальтобетон по прочности при сжатии при 20 и 50 °С тоже превосходит требования ГОСТа, такие же показатели для асфальтобетона на «чистом» битуме. Средняя плотность сероасфальтобетона больше, чем средняя плотность асфальтобетона на битуме. Повышение прочности и плотности сероасфальтобетона с повышением содержания серы, вероятно, связано с тем, что сера химически не взаимодействует с битумом, а выступает в виде кристаллов, т.е. дополнительного минерального порошка в асфальтобетоне. Водопоглощение сероасфальтобетона находится в пределах, рекомендуемых ГОСТом. Водостойкость составов № 2-4 отвечает требованиям ГОСТа и немного ниже водостойкости состава на битуме.

Таблица 3. Физико-механические свойства сероасфальтобетона

Наименование показателей	Состав №1	Состав №2	Состав №3	Состав №4	Требования ГОСТа	Асфальтобетон на битуме
1. Предел прочности при сжатии при 20 °С, МПа	2,42	2,86	8,3	6,8	Не менее 2,5	2,18
2. Предел прочности при сжатии при 50 °С, МПа	0,78	1,33	2,27	2,18	Не менее 1,2	1,24
3. Средняя плотность асфальтобетона, г/см <sup>3</sup>	2,35	2,39	2,51	2,47	-	1,93
4. Средняя плотность минеральной части, г/см <sup>3</sup>	2,2	2,06	2,16	1,9	-	2,06
5. Водопоглощение, % массы	5,7	1,6	2,65	2,1	1,5-4	2,74
6. Водостойкость	0,58	0,93	0,99	0,90	Не менее 0,9	1,09

Снижение прочности сероасфальтобетона при 20 и 50 °С и увеличение водопоглощения при введении серы в количестве 20 % (состав №1) связаны с тем, что сера в данном случае выполняла роль пластификатора, снижала вязкость вяжущего. При содержании 40 % серы в СБВ наступало повышение вязкости вяжущего – сера «работала» как структурообразователь, воздействие серы на битум было эквивалентно дополнительному введению в его состав минерального порошка, который, как известно, упрочняет коагуляционную структуру битума.

Снижение прочности при 20 и 50 °С сероасфальтобетона с 30 % серы по сравнению с прочностью сероасфальтобетона с 16 % серы объясняется тем, что увеличение содержания количества серы до 30 % в асфальтобетоне приводит к сильной кристаллизации серы и к разуплотнению структуры асфальтобетона.

### 5. Заводская технология приготовления сероасфальтобетона

Проведенные исследования подтверждают, что на СБВ можно приготовить асфальтобетон и строить слои дорожного покрытия таким же способом, как и из асфальтобетона, приготовленного на обычном битуме [7].

Однако технологический процесс получения СБВ и САБ должен осуществляться при температуре не выше 140 °С в связи с требованиями условий безопасности работ.

Таким образом, все известные технологии применения серы при получении сероасфальтобетона сводятся к следующим основным вариантам:

- предварительное приготовление СБВ типа эмульсии и введение его в минеральную смесь;
- одновременное дозирование жидкого битума и серы в минеральную смесь;
- дозирование жидкой серы в минерально-битумную смесь.

Сероасфальтобетонные смеси производят в тех же асфальтобетонных машинах, что и при получении обычных асфальтобетонов, но необходимо оснащать их дополнительным оборудованием, которое зависит от выбранной технологической схемы получения сероасфальтобетона.

Если сероасфальтобетонная смесь получается путем непосредственного введения серы в битум, а потом смешивания с минеральной смесью, то следует добавить оборудование для получения СБВ [7].

В процессе получения СБВ необходимо выдерживать температурный режим нагрева составляющих и температурный режим выработки СБВ. Эти температуры не должны быть выше 140 °С, что исключает выделение  $H_2S$  и  $SO_2$  в процессе получения сероасфальтобетона.

Температуры нагрева составляющих САБ и его производства значительно ниже, чем температуры нагрева составляющих обычного асфальтобетона. Приготовление асфальтобетона на СБВ происходит быстрее, чем асфальтобетона на чистом битуме или сероасфальтобетона, полученного по другой технологии. Этот факт объясняется значительным понижением вязкости вяжущего (СБВ) по сравнению с битумом и, как следствие, повышением скорости обволакивания зерен минеральной части асфальтобетона.

В случае приготовления асфальтобетонной смеси с введением серы непосредственно в смесь или одновременно с введением битума в минеральную смесь необходима установка дополнительного оборудования для дозирования жидкой серы.

## 6. Укладка в покрытие сероасфальтобетона

Укладка сероасфальтобетонной смеси может производиться в строительном сезоне при температуре воздуха не ниже 10 °С, причем основание не должно быть влажным. Для получения покрытия хорошего качества укладывать сероасфальтобетонную смесь необходимо в сухую погоду. Непосредственно перед укладкой сероасфальтобетонной смеси нужно произвести необходимые разбивочные работы и смазать битумом все выступающие части в пределах ширины устраиваемого покрытия.

Доставленная к месту укладки сероасфальтобетонная смесь должна иметь температуру от 135 до 120 °С. Укладка ее должна производиться обычными асфальтоукладчиками.

Технологический процесс укладки этой смеси не должен отличаться от технологии укладки горячего асфальтобетона. Это же относится и к процессу уплотнения. Наиболее эффективное уплотнение катками должно происходить в интервале температур от 130 до 120 °С. Уплотнение нужно начинать легкими или средними, а затем тяжелыми катками, обеспечивающими окончательное уплотнение покрытия. Исследования показали, что модифицирование асфальтобетона серой позволяет уменьшить количество проходов катка по одному следу, что приводит к увеличению их производительности [7].

### Заключение

На основе выполненных исследований о влиянии добавки серы на свойства асфальтобетона можно сделать следующие выводы:

1. Изучена возможность получения серного вяжущего на основе отходов металлургической промышленности Норильского комбината – технической серы, а также кеков завода «Красцветмет». Введение в асфальтобетон добавки серы в виде СБВ, содержащего до 20 % серы, приводит к понижению прочности при сжатии и увеличению водопоглощения асфальтобетона. Это явление объясняется тем, что вся сера связывается с битумом и не выступает в виде кристаллов, т.е. дополнительного минерального порошка в асфальтобетоне, не упрочняет его структуру.

2. Увеличение содержания серы до 40 % вызывает рост прочности при сжатии асфальтобетона. Прочность превышает свойства асфальтобетона на «чистом» битуме. В данном случае сера, являясь центрами кристаллизации, способствует получению однородной плотной мелкокристаллической структуры серного вяжущего и выступает в роли минерального порошка, что значительно улучшает физико-механические свойства асфальтобетона.

3. Сероасфальтобетон, приготовленный без битума и с большим содержанием серы (30 %), имеет рыхлую структуру и меньшую прочность по сравнению с сероасфальтобетоном с 16 % серы.

4. Введение серы в асфальтобетон вызывает не только экономию битума, но и повышение важных физико-механических свойств асфальтобетона (прочности при сжатии, плотности).

### Список литературы

- [1] *Иваньски М., Урьев Н.Б.* Асфальтобетон как композиционный материал (с нанодисперсным и полимерным компонентами). М.: Техполиграфцентр, 2007. 668 с.
- [2] *Плотникова И.А., Гурарий Е.Л., Степанян И.В.* //Автомобильные дороги. 1982. №9. С. 15.

[3] Гматейко В.В., Золотарев В.А. Использование серы и серосодержащих отходов в дорожном строительстве. Обзорная информация. М., 1990. 62 с.

[4] Гурарий Е.М. Влияние серы на структурообразование в битумах// Тр. СоюзДорНИИ. 1971. Вып.44. 137 с.

[5] Королев И.В. Пути экономии битума в дорожном строительстве. М.: Транспорт, 1986.147 с.

[6] Личман Н.В. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2002. 33 с.

[7] Методические рекомендации по применению асфальтобетонов с добавкой серы и по технологии строительства из них дорожных покрытий. Балашиха: СоюзДорНИИ, 1986.16 с.

[8] ГОСТ 9128-2010. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия.

[9] ГОСТ 12801-98. Смеси асфальтобетонные дорожные и аэродромные, дегтебетонные дорожные, асфальтобетон и дегтебетон. Методы испытаний.

## **Sulfur Asphaltconcreet**

**Galina V. Vasilovskaya and Denis R. Nazirov**

*Siberian Federal University,  
79 Svobodny, Krasnoyarsk, 660041 Russia*

---

*An influence of sulfur as a part of sulfur-bitumen binder on the properties of asphalt-concrete was studied. On the base of local mineral filling aggregates such as the bitumen of Achinsk oil-refiner plant and Norilsk combine technical sulfur, composition of road asphalt-concrete was calculated and prepared. Cakes-powder-like wastes of Krasnoyarsk «Krazsvetmet» plant were used as mineral powders. To compare the results asphalt-concrete mixture based on «pure» bitumen was prepared. The research conducted has shown that an introduction of sulfur into asphalt-concrete leads not only to the economy of bitumen, but to an increase in basic physical and mechanical properties. The composition of sulfur-asphalt-concrete is recommended for production. The main technological parameters of plant technology of sulfur-asphalt-concrete preparation and its application in road pavement are substantiated.*

*Keywords: asphalt-concrete, sulfur-bitumen binder, Norilsk combine technical sulfur, bitumen of Achinsk oil-refiner plant, road pavement, technological parameters.*

---