УДК 691

АСФАЛЬТОБЕТОНЫ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ КОМПЛЕКСНОЙ ДОБАВКОЙ НА ОСНОВЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ СЕРЫ И НЕЙТРАЛИЗАТОРОВ ЭМИССИИ ТОКСИЧНЫХ ГАЗОВ

В.А. ГЛАДКИХ, аспирант, кафедра «Технология вяжущих веществ и бетонов», МГСУ,
Е.В. КОРОЛЁВ, доктор техн. наук, проректор МГСУ,
Д.Л. ХУСИД, директор Главного управления дорожного хозяйства Оренбургской области

Ключевые слова: сероасфальтобетон, эмиссия токсичных газов, серный модификатор
Keywords: sulfur asphalt concrete, toxic gases emission, sulfur modifier

В статье представлен обзор способов получения сероасфальтобетонов, а также существующих методов снижения эмиссии токсичных газов – сероводорода и диоксида серы. Предложен способ, позволяющий получить энергоэффективную, экологически безопасную технологию изготовления асфальтобетонов, модифицированных серой, и асфальтобетонных покрытий на их основе путем введения гранул серного модификатора, содержащего компоненты, нейтрализующие выделение токсичных газов. На основании результатов лабораторных исследований сероасфальтобетонов установлена целесообразность применения комплексной добавки на основе технической серы и нейтрализаторов эмиссии токсичных газов для модификации асфальтобетонов.


Гладких Виталий Александрович


Королёв Евгений Валерьевич


Хусид Дмитрий Леонидович

Получение долговечных, энергоэффективных и экологически безопасных асфальтобетонных покрытий является приоритетной задачей исследователей различных университетов и компаний всего мира. Разработаны различные технологии, обеспечивающие как сохранение термопластичных свойств битума во времени, так и повышающие интенсивность взаимодействия на границе раздела фаз «битум – дисперсная фаза».

Перспективной добавкой, получившей достаточное признание в зарубежных странах, является техническая сера. Асфальтобетоны, приготовленные с использованием комплексного вяжущего, состоящего из нефтяного дорожного битума и технической серы, получили название сероафальтобетоны. Технологии серных материалов достаточно хорошо известны в России. Дополнительный импульс развития такие технологии получили после заседания президиума Совета при президенте России по модернизации экономики и инновационному развитию [1].

Асфальтобетоны, модифицированные серой, вследствие изменения химического и дисперсного состава битума, изменения интенсивности взаимодействия на границе раздела фаз имеют повышенные показатели физико-механических свойств, особенно при повышенных температурах, стойкость к колееобразованию, длительную водостойкость и др. Экономическими стимулами являются: возможность снижения расхода нефтяного битума, снижение температуры приготовления и укладки, а также повышение показателей эксплуатационных свойств сероасфальтобетонов, влияющих на продолжительность межремонтных периодов.

Получение асфальтобетонов, модифицированных серой, может реализовываться по двум различным технологиям, отличающимся способом введения серы (или серосодержащего модификатора) в асфальтобетонную смесь:

1) получение серобитумного вяжущего (СБВ), полученного предварительным смешением серы и расплава битума;

2) подготовка и введение гранул серного модификатора, содержащего дополнительно необходимый перечень добавок, способных регулировать технологические и эксплуатационные свойства асфальтобетона.

Проведенные авторами работы [2] исследования показали, что способ введения серы в асфальтобетонную смесь не оказывает существенного влияния на свойства сероасфальтобетона. Важно, чтобы она, расплавляясь однородно, распределялась в смеси.

В нашей стране технология модифицирования асфальтобетона серой начала развиваться в 1980-х годах. Основной причиной, ограничивающей широкое практическое применение этой технологии, являлось отсутствие эффективных решений по нейтрализации токсичных газов – сероводорода и диоксида серы, выделяющихся при производстве и укладке этих смесей. Существующие физический (снижение температуры смеси) и физико-химический (введение веществ – маскировщиков запаха) методы недостаточно эффективны. Химический способ (введение веществ, способных взаимодействовать с токсичными газами) имеет ограниченный как временной ресурс, так и финансовый (введение химически активных компонентов значительно повышает стоимость сероасфальтобетона). По мнению авторов данной работы, наиболее эффективным является комплексный способ, объединяющий преимущества всех представленных способов. Данный подход позволяет получить энергоэффективную, экологически безопасную технологию изготовления асфальтобетонов, модифицированных серой, и асфальтобетонных покрытий на их основе путем введения гранул серного модификатора (рис. 1), содержащего компоненты, нейтрализующие выделение токсичных газов, обеспечивающие снижение температуры приготовления асфальтобетонной смеси и повышающие интенсивность взаимодействия на границе раздела фаз «битум – дисперсная фаза».

Проведенные экспериментальные исследования с применением методики, моделирующей реальные условия переработки асфальтобетонной смеси, показали, что использование серного модификатора, содержащего нейтрализаторы эмиссии токсичных газов, позволяет снизить концентрации диоксида серы и сероводорода до безопасных значений, обеспечив тем самым санитарно-гигиенические требования [3].

Результаты определения физико-механических показателей свойств асфальтобетонов, модифицированных комплексной добавкой на основе технической серы и нейтрализаторов эмиссии токсичных газов, приведены в табл. 1. В качестве контрольного состава использовался асфальтобетон вида ЩМА-20 с содержанием битума 5,5% сверх минеральной части. Содержание вяжущего в смеси рассчитывалось из условия обеспечения требуемой остаточной пористости (1,5-4,5%). Исследовались составы сероасфальтобетона с 20%-, 30%- и 40%-ным содержанием серного модификатора. Расчет содержания вяжущего в сероасфальтобетонной смеси проводился согласно методике, в основу которой положено равенство объемов нефтяного битума базового состава асфальтобетона и вяжущей композиции, содержащей битум и серный модификатор. Зерновой состав минеральной части сероасфальтобетона оставался таким же, как и у базового состава.

Рис. 1. Внешний вид комплексной добавки на основе технической серы и нейтрализаторов эмиссии токсичных газов

Прочность. Результаты испытаний показывают, что введение в сероасфальтобетон до 20% серного модификатора практически не оказывает влияние на изменение прочности при сжатии при 20°С, однако прочность при сжатии сероасфальтобетона при 50°С с тем же содержанием модификатора на 10% выше, чем у контрольного состава (рис. 2). С увеличением содержания серного модификатора более 20% наблюдается рост прочности. Так, прочность на сжатие при 20°С асфальтобетонов, содержащих 30 и 40%

Таблица 1. Физико-механические свойства асфальтобетона и сероасфальтобетона

Наименование показателей	Требования ГОСТ 31015-2002 (II дорожно-климатическая зона)	Контрольный состав (ЩМА 20)	Сероасфальтобетон		
			20% серного модификатора	30% серного модификатора	40% серного модификатора
Пористость минеральной части, %	15-19	15,98	16,01	16,20	16,70
Предел прочности при сжатии при 20°С, МПа	не менее 2,2	3,34	3,35	4,15	5,30
Предел прочности при сжатии при 50°С, МПа	не менее 0,65	1,46	1,60	2,09	2,40
Средняя плотность асфальтобетона, кг/м^3	-	2620	2640	2650	2650
Остаточная пористость, %	от 1,5 до 4,5	2,31	2,35	2,55	2,90
Водонасыщение, % по объему	от 1 до 4	2,26	1,93	1,54	1,4
Предел прочности на растяжение при расколе при 0°С, МПа	не менее 2,5 не более 6	3.24	3,85	3,63	3,78
Сдвигоустойчивость: - коэффициент внутреннего трения - сцепление при сдвиге при температуре 50°С, МПа	 не менее 0,93 не менее 0,18	 0,95 0,27	 0.93 0,30	 0,95 0,38	 0,94 0,45
Водостойкость при длительном водонасыщении	не менее 0,85	0,90	0,89	0,95	0,90

серного модификатора, на 24 и 59%, соответственно, выше, чем у контрольного состава. При высоких температурах разница в прочности сероасфальтобетона и базового состава возрастает: прочность на сжатие при 50°С сероасфальтобетонов, содержащих 30 и 40% серного модификатора, выше контрольного состава на 43 и 64%, соответственно.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют, что сероасфальтобетонные смеси обладают повышенной теплоустойчивостью, причем увеличение содержания серного модификатора способствует повышению данного параметра.

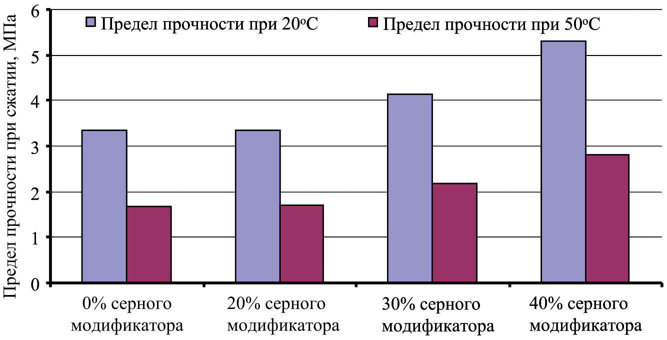

Рис. 2. Гистограмма изменения прочности образцов на сжатие при 20 и 50°С (образцы испытаны после 2-суточного хранения)

Эффект увеличения прочности при содержании серного модификатора выше 20% можно объяснить формированием кристаллизационных связей в межзерновом пространстве. Так, частицы серы после охлаждения представляют собой рассеянные в среде органического вяжущего кристаллические образования, создающие при повышенных содержаниях серы перколяционную дисперсную фазу [4]. Однако серный модификатор является особым наполнителем, обладающим высокой поверхностной активностью по сравнению с доломитовым порошком. Также особенностью серного модификатора является то, что он действует в качестве армирующего материала, обладающего вяжущими свойствами. Как уже отмечалось выше, кристаллические агрегаты серы способны образовывать пространственный каркас, состоящий из соединенных между собой более мелких агрегатов и придающий им свойства твердообразных структур. Данные кристаллические образования взаимодействуют через высокоструктурированные прослойки битума, приводят к резкому повышению жесткости межзернового пространства по сравнению с обычным битумным вяжущим и созданию композиционной структуры бетона [4, 5].

Интересен факт роста прочности сероасфальтобетона с течением времени. В работе проводились исследования данного явления для образцов сероасфальтобетона, содержащих 20; 30 и 40% серного модификатора. Результаты экспериментальных данных показывают, что наиболее активно рост прочности происходит в первые 10 суток. Так, прочность образцов с 30%-ным содержанием серного модификатора после 10-суточного хранения увеличивается, превышая начальные (определенные на 2-й день) показатели прочности на 51%. Образцы, испытанные после 21; 28 и 61 сут. хранения, не показали существенного изменения прочности по сравнению с образцами, испытанными после 10-суточного хранения. Явление роста прочности сероасфальтобетона с течением времени можно объяснить следствием постепенной кристаллизации серы при температурах ниже 120°С.

Таким образом, прочность при сжатии сероасфальтобетонов, приготовленных с добавлением серного модификатора в количестве 20-40%, определенная после 2-суточного хранения, соответствует требованию ГОСТ 31015-2002 «Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Технические условия», а после 10-суточного хранения – значительно превосходит требования указанного стандарта.

Водонасыщение. Несмотря на некоторое увеличение остаточной пористости при содержании серного модификатора в количестве 30-40% сероасфальтобетонные образцы, насыщенные водой под вакуумом, показывают более низкое водопоглощение, чем у контрольного состава (рис. 3).

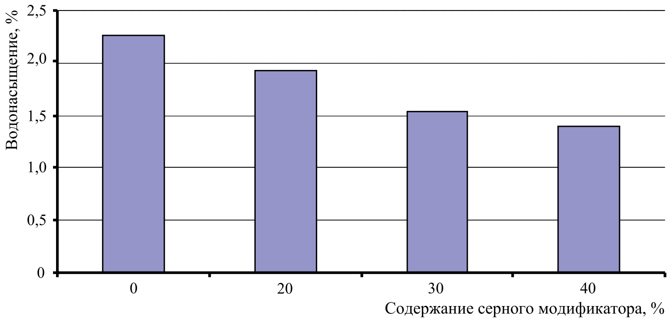

Рис. 3. Зависимость водонасыщения асфальтобетонов от содержания серного модификатора

Снижение водонасыщения асфальтобетонов с добавкой серного модификатора объясняется формированием замкнутой поровой структуры, а также гидрофобностью самой серы, которая объясняется осуществленным различием в величинах коэффициента диэлектрической проницаемости контактирующих фаз (правило поляризуемости Ребиндера): коэффициент диэлектрической проницаемости серы равен 3,65, а воды – 81.

Трещиностойкость. Сопоставительные лабораторные испытания контрольного и сероасфальтобетонов выявили высокую трещиностойкость последних (рис. 4).

Трещиностойкость оценивали по пределу прочности на растяжение при расколе при температуре 0°С согласно ме-

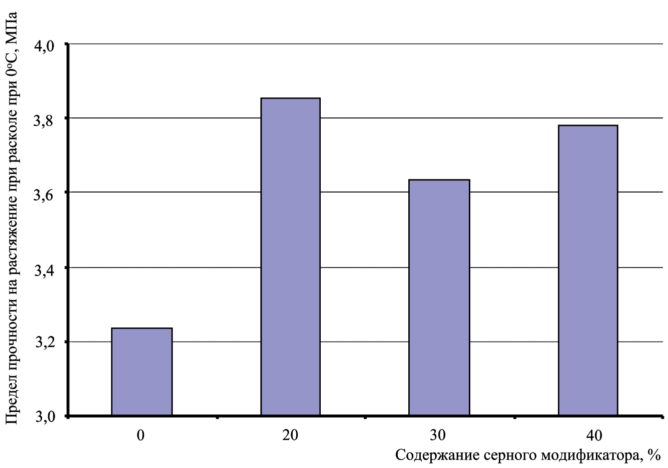

Рис. 4. Зависимость предела прочности на растяжение при расколе асфальтобетона при 0°С от содержания серного модификатора

тоду ГОСТ 12801-98. Полученные данные свидетельствуют, что замещение части битума серным модификатором не оказывает негативного влияния на низкотемпературные свойства сероасфальтобетонных смесей, что также подтверждается исследованиями [6, 7].

Стойкость к колееобразованию. Оценка стойкости асфальтобетона и сероасфальтобетона к колееобразованию проводилась с использованием анализатора асфальтового покрытия (рис. 5) [8].

Рис. 5. Схема нагрузки на образец при тесте по методу APA

Суть метода заключается в определении глубины колеи от воздействия совершающего движение по пневматическому шлангу металлического колеса. В шланге поддерживается определенное давление. Для испытания используются цилиндрические образцы диаметром 150 мм. То есть моделируются реальные условия работы материала в покрытии.

Результаты исследования свидетельствуют, что стойкость к колееобразованию сероасфальтобетона значительно выше, чем у традиционных асфальтобетонов: при 30%-ном содержании серного модификатора в 2,5 раза, а при 40%-ном – в 3,7 раза (рис. 6).

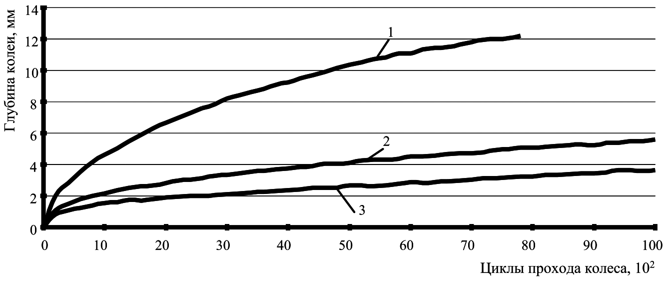

Рис. 6. Зависимость глубины колеи от количества проходов колеса и содержания серного модификатора: 1 – контрольный состав; 2 – 30% серного модификатора; 3 – то же, 40%

Таким образом, проведенные исследования показывают целесообразность применения комплексной добавки на основе технической серы и нейтрализаторов эмиссии токсичных газов для модификации асфальтобетонов. Указанный способ позволяет получить материал для дорожных покрытий с повышенными физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

Библиографический список

1) *http://archive.government.ru/docs/24311*
2) *Методические рекомендации по применению асфальтобетонных смесей с добавкой серы и технологии строительства из них дорожных покрытий / сост.: И.А. Плотникова, Е.М. Гурарий. – М.: СоюздорНИИ, 1986, 16 с.*
3) *Гладких В.А. Снижение эмиссии сероводорода и диоксида серы из серобитумных материалов / В.А. Гладких, Е.В. Королёв // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2014, вып. 2 (33), Ст. 3. Режим доступа: http://www.vestnik.vgasu.ru. Журнал входит в перечень ВАК.*
4) *Руденская И.М. Органические вяжущие для дорожного строительства / И.М. Руденская, А.В. Руденский. – М.: Транспорт, 1984, 229 с.*
5) *Веренько В.А. Влияние элементарной серы на структуру органических вяжущих и бетонов / В.А. Веренько, И.К. Яцевич // Управление структурообразованием, структурой и свойствами дорожных бетонов: материалы III Всесоюзного совещания. – Харьков, 1983, с. 45-46.*
6) *Стриклэнд Д., Коланж Д., Шоу П., Паг Н. Исследование свойств асфальтобетонных смесей с серными добавками при низких температурах / Shell Sulphur Solutions, 16 с.*
7) *Тимм Д., Трэн Н., Тейлор А., Роббинс М., Пауэлл Б. Оценка качества смеси и конструкционной прочности дорожных покрытий при использовании Shell Thioave. Отчет НЦАТ 09-05. Обернский университет, 2009.*
8) *www.nocnt.ru // Оборудование НОЦ «Наноматериалы и Нанотехнологии».*