

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-1-18-25

Курлыкина А.В., Денисов В.П., Кузнецов Д.А., Лукаш Е.А.Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова***E-mail: anastasiyakurlikina@yandex.ru*

ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНЫЙ АСФАЛЬТОБЕТОН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕРОВОВЛЕКАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Аннотация. *К одной из главных причин уменьшения срока службы дорожных асфальтобетонных покрытий (появление и развитие повреждений в виде колеи, различного рода пластических деформаций, выбоин, трещин и т.д.) относится невысокое качество используемых нефтяных битумов. К физико-механическим свойствам дорожных битумов предъявляются ужесточенные требования, особенно это касается органических вяжущих используемых для производства щебеночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА), поэтому, на наш взгляд, разработка битумных вяжущих с повышенными физико-механическими свойствами является одной из ключевых и наиболее актуальных задач в дорожном строительстве. Данная проблема решается за счёт введения в состав вяжущего различных модификаторов. В данной статье приведены результаты исследования битума, модифицированного с помощью введения в состав технической серы. Показано влияние модифицирования вяжущего на физико-механические свойства дорожных асфальтобетонов на примере щебеночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА-20) относительно базовых образцов, изготовленных для контроля динамики изменения показателей свойств композитов выполненных с использованием серововлекающих технологий. Для комплексной оценки эффективности модифицирования щебеночно-мастичного асфальтобетона на основе различных вяжущих был рассчитан обобщенный критерий качества, с учетом рассчитанных частных критериев качества и различных значений коэффициентов весомости. Произведено сравнение и анализ полученных критериев эффективности.*

Ключевые слова: *модифицированные вяжущие, щебеночно-мастичный асфальтобетон (ЩМА).*

Введение. В современном мире активно ведутся исследования, направленные на создание материалов, характеризующихся совокупностью улучшенных показателей свойств. В связи с этим, направление модифицирования битума различными добавками в области дорожно-строительных материалов является актуальным.

В настоящее время прослеживается бум использования щебеночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА) при устройстве покрытий автомобильных дорог. В качестве вяжущего компонента в смеси выступают битумы нефтяные дорожные вязкие по ГОСТ 22245-90 и ГОСТ 33133-2014 [1, 2], вяжущие полимерно-битумные (ПБВ) по ГОСТ Р 52056-2003 [3], а также битумные вяжущие усовершенствованные различными модификаторами по ГОСТ Р 58400.3-2019 [4].

Популярностью в дорожно-строительном сегменте ЩМА обязана совокупности показателей свойств и особенностям структуры, обуславливающих: способность сопротивляться разрушающему воздействию от движущихся транспортных единиц техники и природно-климатических условий, повышенная сдвигоустойчивость, что в комплексе позволяет прогнозировать долгосрочную бездефектную эксплуатацию композита.

Отличительной чертой смесей ЩМА относительно традиционных асфальтобетонных смесей является меньшая остаточная пористость, что

вполне обосновано повышенным содержанием щебня и вяжущего, формирующего совместно с минеральным порошком и стабилизирующей добавкой – мастичную систему, выполняющую функцию клея в композите. Таким образом, использование качественного вяжущего является важным аспектом на пути увеличения сроков службы дорожных покрытий.

Основная часть. Определяющая структурообразующая роль битума в совокупности с минеральным порошком в составе щебеночно-мастичного асфальтобетона, определяют необходимость методично и обосновано подходить к целенаправленному регулированию свойств органических вяжущих для обеспечения работоспособности покрытий дорог при системно увеличивающейся нагрузке. Достижение обозначенных позиций возможно направленной корректировкой свойств битума различными модификаторами: полимерными добавками, антиоксидантами, наномодификаторами, поверхностно-активными веществами (ПАВ) и т.д [5–6].

Традиционно, для обеспечения необходимого качества органических вяжущих применяются два основных направления модификации: технологический и рецептурный.

К числу перспективных направлений по модифицированию битумов относится использование серы, как многотоннажного сырья, образующегося при переработке нефти. Использованию

серы в качестве модификатора асфальтобетона способствуют следующие факторы [7–9]:

- утилизация серы и снижение расходов на её хранение и утилизацию;
- сокращение содержания битума в композите, за счет замены серой, без снижения его качества;
- снижение объёма инвестиций на закупку органических вяжущих для строительства и эксплуатации дорожных покрытий;
- прирост прочностных и эксплуатационных характеристик сероасфальтобетонов.

В соответствии с современным уровнем исследований по данной тематике [9], сероасфальтобетоны характеризуются высокими прочностными показателями и теплоустойчивостью. При этом, как утверждают исследователи, увеличения жесткости в композите при низких температурах не наблюдается. Симбиоз таких свойств должен позволить снизить образование пластических деформаций летом в слоях дорожных одежд и трещин на покрытии в холодное время года.

Так же, есть мнение [10], что приготовление сероасфальтобетонных смесей возможно с уменьшением температур нагрева сырьевых компонентов, без потери технологичности при смешении и укладки смесей в покрытие.

Использование серы в технологии приготовления асфальтобетонных смесей можно отнести к комплексному методу модификации, что обуславливается не только введением серы как дополнительного компонента, но и необходимостью выполнения ряда технологических операций, для минимизации экологической нагрузки на эко- и биосистемы. История вовлечения серы как модификатора битума не нова.

Например, Vencovitz и Вое [11] уже в 1938 году в журнале ASTM опубликовали статью по добавкам серы в битум. На данный момент зарубежные исследования серобитумных вяжущих не прекратились и активно ведутся поисковые работы [12–17]. А исследования тайваньских учёных [18] показали возможность использования серы как сшивающего и стабилизирующего агента в составах ПБВ при взаимодействии с полимерами типа СБС.

В разные периоды интерес к сере, как модификатору битумов, обострялся. В соответствии с ним, в отечественной литературе встречаются разработки [19–21] по использованию различных составов серобитумного вяжущего и способах его приготовления. Предлагаются решения таких проблем как токсичность (добавляют каучук и жирные кислоты, для предотвращения выделения сероводорода, устанавливают температур-

ные режимы при приготовлении модифицированного вяжущего), разрабатывают различного рода добавки для улучшения смешения серы с органическим вяжущим и, следовательно, снижения энергозатрат. В настоящее время, серововлекающие технологии вновь находятся на пике популярности.

В представленной работе, освещается проблематика использования серы, как компонента для модифицирования органических вяжущих и ЩМА на их основе.

В качестве объектов исследования в работе выступал ЩМА-20, приготовленный на различных видах вяжущего:

- исходный битум БНД 60/90 (I);
- битум БНД 60/90, модифицированный серой (II);
- битум БНД 60/90, модифицированный комплексной добавкой на основе серы и полимера «LG» (III);

Добавка серы представляет собой элементарную серу, в избытке образующуюся при нефтепереработке. Было установлено, что оптимальное и рациональное содержание серы при модифицировании битума составляет 15 %.

Комплексная добавка (III) представляет собой гранулы, предназначенные для оперативного приготовления составов модифицированных вяжущих, по механизму действия идентичных ПБВ. В состав гранул входит сера, нейтрализованная дополнительными компонентами, воск и полимер. Оптимальное содержание добавки составило 11 % по мас.

В работе использовались нормативно технические требования к вяжущим в соответствии с ГОСТ 22245-90 [1]. Физико-механические показатели свойств, используемых вяжущих, представлены в таблице 1.

Как видно, полученные значения соответствуют нормативным требованиям к вяжущим [1, 3].

На следующем этапе были подобраны составы ЩМА–20.

Отличие от асфальтобетона, для структуры ЩМА характерно повышенное содержание битума, которое обеспечивает на зернах минеральных материалов, в тандеме со стабилизирующей добавкой, развитые слои. Поэтому, при подборе состава щебёночно-мастичного асфальтобетона, показатели устойчивости смеси к расслаиванию являются определяющими. Также, базовыми показателями при подборе составов являются стекание и остаточная пористость композита.

Подбор минеральной части ЩМАС базировался на требованиях ГОСТ 31015-2002 [22]. Для исследуемых серий композитов подобранное содержание битума являлось константой – 6,1 %.

Испытание образцов ЩМА производили в соответствии с требованиями ГОСТ 31015-2002 [3].

Результаты испытаний образцов представлены в таблице 2.

Таблица 1

Свойства используемого органического вяжущего

Наименование показателя	Требования ГОСТ 22245 БНД 60-90	Наименование вяжущего			ГОСТ Р 52056-2003 ПБВ 60
		(I)	(II)	(III)	
Глубина проникания иглы: при 25 °С, 0,1 мм при 0 °С, 0,1 мм	61–90 не менее 20	64 41	76 42	67 50	не менее 60 не менее 32
Температура размягчения по кольцу и шару (КИШ), °С	не ниже 47	47,3	47,6	62	не ниже 54
Растяжимость, см: при 25 °С при 0 °С	не менее 55 не менее 3,5	110,0 8,4	103,0 8,3	84,4 6,9	не менее 25 не менее 11
Температура хрупкости, °С	не выше -15	-19	-23	-21	не выше -20

Таблица 2

Влияние вида органического вяжущего на физико-механические показатели образцов ЩМА-20

Наименование показателя	По ГОСТ 31015	Используемое вяжущее		
		(I)	(II)	(III)
Стекание, %	не более 0,2	0,09	0,09	0,13
Средняя плотность	–	2,53	2,53	2,53
Пористость минеральной части, %	15–19	16	16,5	16,8
Остаточная пористость, %	1,5–4,5	2,1	1,54	2,1
Водонасыщение, %	1,0–4,0	1,93	2,5	1,85
Предел прочности при сжа- тии, МПа при 20 °С при 50 °С где $tg\varphi$ сцепление, МПа	не менее 2,2 не менее 0,65 не менее 0,93 не менее 0,18	2,26 0,76 0,98 0,22	3,86 0,69 0,93 0,19	3,44 1,27 0,94 0,23
Трещиностойкость, МПа, при 0 °С	2,5–6,0	4,22	4,7	3,57

Качество щебеночно-мастичного асфальтобетона на основе разработанных вяжущих оценивалось по таким показателям как: водонасыщение, показатель прочности при сжатии при температурах 20 °С, 50 °С, коэффициент трещиностойкости.

Как видно, прочностные показатели образцов соответствуют нормативным требованиям. Использование серобитумного вяжущего положительно повлияло на показатели водонасыщения и предела прочности при сжатии при 20 °С, однако, прочность при 50 °С оказалась неудовлетворительной, что может быть связано с предельно низкой остаточной пористостью. У ЩМА на основе битума, модифицированного комплексной добавкой, показатели физико-механических свойств превышают показатели контрольных образцов.

Однако, для всесторонней оценки анализируемых составов ЩМА, стандартных испытаний на соответствие ГОСТ, недостаточно. Для большей информативности в программу испытаний был включён параметр стойкости к колееобразованию, позволяющий прогнозировать долговечность дорожных покрытий, выполненных на органическом вяжущем, по критерию пластических деформаций. Работа с щебеночно-мастичным асфальтобетоном на основе битумного вяжущего (II) сопровождалась едким запахом в процесс приготовления смеси и формовки образцов.

Результаты испытания на колееобразование для ЩМА-20 на основе органических вяжущих с маркировкой I - III представлены на рисунке 1.

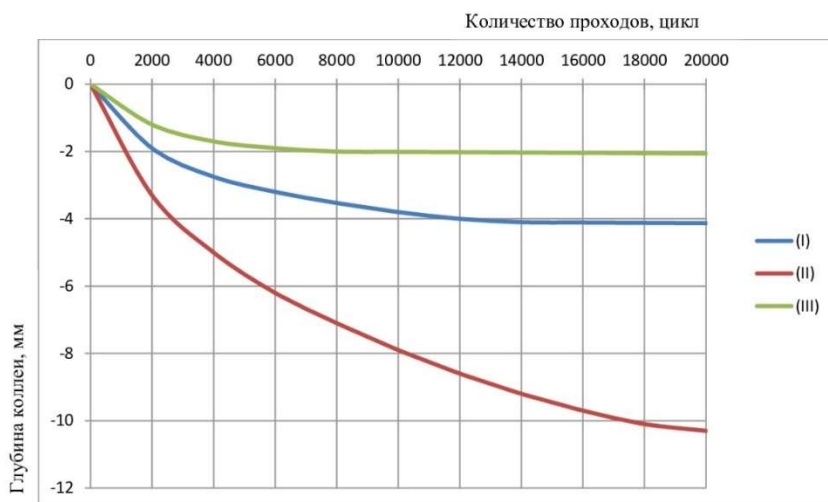


Рис. 1. Интенсивность развития колеи после 20000 проходов у ЩМА-20 на основе битумов (I), (II) и (III)

При оценке результатов выполненных сопоставительных испытаний было установлено: более подвержены процессам колееобразования образцы-плиты ЩМА, приготовленные на базовом битуме БНД 60/90 (I); минимальная колея была зафиксирована на образце, модифицированном комплексной добавкой (III).

Для комплексной оценки эффективности исследуемых композитов на различных вяжущих были рассчитаны частные критерии качества ЩМА-20:

- критерий прочности;

$$k_{R_{сж,20}} = \frac{R'_{сж,20}}{R_{сж,20}}, \quad (1)$$

где $R'_{сж,20}$ и $R_{сж,20}$ – предел прочности при сжатии при температуре 20 °С модифицированного и традиционного щебеночно-мастичного асфальтобетона, соответственно, МПа.

- критерий высокотемпературной прочности;

$$k_{R_{сж,50}} = \frac{R'_{сж,50}}{R_{сж,50}}, \quad (2)$$

где $R'_{сж,50}$ и $R_{сж,50}$ – предел прочности при сжатии при температуре 50 °С модифицированного и традиционного щебеночно-мастичного асфальтобетона, соответственно, МПа.

- критерий сдвигоустойчивости;

$$k_{сдвиг} = \frac{C'_л \cdot tg'(\varphi)}{C_л \cdot tg(\varphi)}, \quad (3)$$

где $C'_л$ и $C_л$ – лабораторный показатель сцепления при сдвиге модифицированного и традиционного щебеночно-мастичного асфальтобетона, соответственно, МПа; $tg'(\varphi)$ и $tg(\varphi)$ – коэффициент внутреннего трения модифицированного и традиционного щебеночно-мастичного асфальтобетона, соответственно.

- критерий стойкости к образованию колеи;

$$k_k = \frac{h'_k}{h_k}, \quad (4)$$

где h'_k и h_k – глубина колеи после 20000 проходов колесом для образцов из модифицированного и традиционного щебеночно-мастичного асфальтобетона, соответственно, мм.

Полученные значения сведены в табл. 3.

Для оценки эффективности модифицирования щебеночно-мастичного асфальтобетона на основе исследуемых вяжущих, был рассчитан обобщенный критерий качества [23], с учетом рассчитанных частных критериев качества и различных значений коэффициентов весомости по формуле:

$$F_k = \alpha_1 K_{фм} + \alpha_2 K_{эк}, \quad (5)$$

где α_1, α_2 – коэффициенты весомости; $K_{фм} = \sqrt[3]{k_{R_{сж,20}} \cdot k_{R_{сж,50}} \cdot k_{сдвиг}}$ – критерий физико-механических свойств, характеризующий предел прочности при различных температурах (50 и 20 °С), показатели сдвигоустойчивости (коэффициент внутреннего трения сцепления при сдвиге); $K_{эк} = \sqrt{k_{кол}}$ – коэффициент эксплуатационных свойств, характеризующий стойкость к образованию колеи.

Результаты расчета представлены в таблице 4.

Анализ таблицы 4 показывает, что разработанный состав органического вяжущего, модифицированный комплексной добавкой (III), является более эффективным в сравнении с базовым составом (I). Состав III позволяет увеличить эффективность композиции до 40 %. Установлено, что использование битумного вяжущего модифицированного серой (II) относительно контрольного базового образца не способствовало достижению ожидаемого эффекта, описанного в исследовательских работах [8, 11–19, 21]. В соответ-

ствии с таблицей 4, различная вариация коэффициентов весомости не позволила ЦМА, приго-

товленному на вяжущем составе (II), приблизиться к показателям обобщенного критерия качества базового состава (I).

Таблица 3

Результаты расчета частных критериев качества модифицированного щебеночно-мастичного асфальтобетона

Наименование критерия	Значение частного критерия для составов		
	I	II	III
Физико-механические свойства			
Критерий прочности	1,0	1,71	1,52
Критерий высокотемпературной прочности	1,0	0,91	1,67
Критерий сдвигоустойчивости	1,0	0,82	1,00
Эксплуатационные свойства			
Критерий стойкости к образованию колеи	1,0	0,33	2,0

Таблица 4

Обобщенные критерии качества модифицированных битумов с различными значениями коэффициентов весомости

Значение коэффициентов весомости	Состав ЦМА смеси		
	Состав № 1	Состав № 2	Состав № 3
$\alpha_1 = 0,3$ и $\alpha_2 = 0,7$	1,00	0,72	1,40
$\alpha_1 = 0,4$ и $\alpha_2 = 0,6$	1,00	0,77	1,39
$\alpha_1 = 0,5$ и $\alpha_2 = 0,5$	1,00	0,83	1,39
$\alpha_1 = 0,6$ и $\alpha_2 = 0,4$	1,00	0,88	1,38
$\alpha_1 = 0,7$ и $\alpha_2 = 0,3$	1,00	0,93	1,38

Выводы. Анализируя проделанную работу, можно заключить, что использование модифицированных вяжущих положительно влияет на свойства щебеночно-мастичного асфальтобетона, если при оценке пользоваться исключительно сравнением абсолютных показателей свойств, регламентируемых ГОСТ. Полученные физико-механические свойства образцов ЦМА, приготовленных на вяжущих серии (I-III), полностью соответствуют нормативным требованиям.

Однако, по сравнению с контрольными образцами, композит, приготовленный с использованием вяжущего модифицированного серой склонен к образованию коллейности. Используя для оценки эффективности исследуемых технических решений комплексный подход, учитывающий значения обобщенных критериев качества было установлено, что эффективность ЦМА на вяжущем, модифицированном серой состав (II) неудовлетворительная. Также стоит отметить, что производство серосодержащей асфальтобетонной смеси требует существенно более строгого подхода, прежде всего, к температурным параметрам технологического процесса – при перегреве (свыше 140 °С – 150 °С) выделяется сероводород, что пагубно влияет на экосистему, а характерный запах осложняет работы по производству и укладке таких асфальтобетонов. В связи с этим стоит уделить внимание решению проблем по нейтрализации токсичных газов – сероводо-

рода и диоксида серы, выделяющихся при производстве и укладке сероасфальтобетонных смесей.

Доказано, что применение щебеночно-мастичного асфальтобетона на основе битумного вяжущего серии III, является более эффективным по сравнению с традиционным составом, и требует более детальной и широкой проработки, как эффективный прием по вовлечению серы в технологию производства дорожных асфальтобетонов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- ГОСТ 22245-90. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия (с Изменением N 1). Взамен ГОСТ 22245-76; введ. 01.01.1991. М.: ИПК Издательство стандартов, 2005. 9 с.
- ГОСТ 33133-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические требования. Введ. 01.10.2015. М.: Изд-во стандартов, 2015.
- ГОСТ Р 52056-2003. Вяжущие полимерно-битумные дорожные на основе блоксополимеров типа стирол-бутадиен-стирол. Технические условия. Введ. 01.01.2004. М.: Изд-во стандартов, 2007.
- ГОСТ Р 58400.3-2019. Дороги автомобильные общего пользования. Материалы вяжущие нефтяные битумные. Порядок определения

марки. Введ. 27.06.2019. М.: ИПК Издательство стандартов, 2019.

5. Высоцкая М.А., Шеховцова С.Ю. Влияние морфологии на качественные показатели полимерно-битумного вяжущего // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. 2015. № 11. С. 18–24.

6. Высоцкая М.А., Шеховцова С.Ю. Разработка и анализ составов полимерно-битумных вяжущих на основе метода многокритериальной оптимизации // Строительство: наука и образование. 2017. Т.7, № 4.

7. Использование серы в дорожном строительстве стран Европы и Северной Америки [Электронный ресурс]. URL: <http://www.nestor.minsk.by/sn/1998/42/sn84218.htm>. (дата обращения: 12.11.2019)

8. Каганович Е.В., Курчавов В.С. К вопросу использования серы при строительстве и ремонте автомобильных дорог в Республике Казахстан // Вестник КаздорНИИ. 2004. №1. С. 53–55.

9. Горбик Г.О. Структура и свойства модифицированного серобитумного вяжущего для дорожного строительства: дис...канд. техн. наук. Пенза, 2006. С. 177.

10. Сераасфальтобетон против резких перепадов температур [Электронный ресурс] / URL: <http://rosavtodor.ru/activity/news-from-regions/14062.html>. (дата обращения: 12.11.2019)

11. Hadrzynski F. Such. Modelisation du comportement rheologique des bitumes polymeres. Le modele auto coherent // Bulletin des Ponts et Chaussec. 1998. Vol. 214. Pp. 3–18.

12. Урьев Н.Б., Иваньски М. Применение серы при производстве асфальтобетонных смесей в Польше // Автомобильные дороги. 1989. №7. С. 26–27.

13. Стрикленд Д., Коланж Д., Шоу П., Паг Н. Исследование свойств асфальтобетонных смесей

с серными добавками при низких температурах // Shell Sulphur Solutions. 16 с.

14. Zartaut M. Beton bitumineux coule an Soufre // Bulletin deliasison labor. des. Ponts es chaussec. 1980. No 109. Pp. 121–123.

15. Tomkowiak K., Zelinski K. Wplyw dodatky sidrky do asphaltow // Drogownictwo. 1983. No. 2. Pp. 55–59.

16. Dah-yinn L. Modificatoin of asphalt and asphalt paving mixtures by sulfur additives // Ind. And. Eng. Chem. Proc. Res and Develop. 1975. No. 3. Pp. 171–177.

17. Kennedi T.W., Haas R., Smith P. An engineering evaluation of sulphur-asphalt // 56-th Agg. Meeting of T.R.B. Jan. 1977. Pp. 146–171.

18. Кортянович К. В. Улучшение свойства дорожных битумов модифицирующими добавками: автореф. дис...канд. техн. наук. Уфа, 2007. 17 с.

19. Плотникова И.А. Использование серы в качестве добавки к нефтяным дорожным битумам // Нефтепереработка и нефтехимия. 1984. № 11. С. 7–9.

20. Гладких В.А., Королев Е.В., Хусид Д.Л. Структурообразование сероасфальтобетона: механизм взаимодействия серы с битумом // Строительные материалы и изделия. 2015. № 4. С. 4–11.

21. Сыроежко А.М., Бегак О.Ю., Федоров В.В. Модификация дорожных битумов добавками серы // Химия природного топлива. 2003. №3. С. 506–511.

22. ГОСТ 31015-2002. Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Технические условия. М.: ГУП ЦПП, 2003. 23 с.

23. Шеховцова С.Ю., Высоцкая М.А., Королев Е.В. Критериальная оценка термодеструктивных процессов в асфальтобетоне на основе окисленных и остаточных битумов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2018. № 5. С. 58–70.

Информация об авторах

Курлыкина Анастасия Владимировна, магистрант кафедры автомобильных и железных дорог. E-mail: anastasiyakurlikina@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Денисов Василий Петрович, аспирант кафедры автомобильных и железных дорог. E-mail: wp@dorsoft.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Кузнецов Дмитрий Алексеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных и железных дорог. E-mail: xidox@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Лукаш Евгений Алексеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных и железных дорог. E-mail: svh8@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в ноябре 2019 г.

© Курлыкина А.В., Денисов В.П., Кузнецов Д.А., Лукаш Е.А., 2020

***Kurlykina A.V., Denisov V.P., Kuznetsov D.A., Lukash E.A.**
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova
**E-mail: anastasiyakurlikina@yandex.ru*

CRUSHED STONE MASTIC ASPHALT CONCRETE USING GRAYISH TECHNOLOGIES

Abstract. *One of the main reasons for reducing the service life of road asphalt pavements (the appearance and development of damage in the form of ruts, various kinds of plastic deformations, potholes, cracks, etc.) is the low quality of the used oil bitumen. The physicomaterial properties of road bitumen are subject to stricter requirements, especially for organic binders used for the production of crushed stone mastic asphalt (SMA), therefore, in authors' view, the development of bitumen binders with enhanced physicomaterial properties is one of the key and most urgent tasks in road construction. This problem is solved by introducing various modifiers into the binder. This article presents the results of a study of bitumen modified by introducing technical sulfur into the composition. The effect of binder modification on the physicomaterial properties of road asphalt concrete is shown on the example of crushed stone mastic asphalt (SMA-20) relative to base samples made to control the dynamics of changes in the properties of composites made using sulfur-raising technologies. For a comprehensive assessment of the effectiveness of modifying crushed stone mastic asphalt concrete based on various binders, a generalized quality criterion is calculated, taking into account the calculated particular quality criteria and various values of the weight coefficients. The comparison and analysis of the obtained efficiency criteria is made.*

Keywords: *modified binders, stone mastic asphalt (SMA).*

REFERENCES

1. GOST 22245-90. Viscous petroleum bitumen. Technical specifications (as amended by N 1) [Bitumy neftyanye dorozhnye vyazkie. Tekhnicheskie usloviya]. Instead of GOST 22245-76; enter 01/01/1991. M.: IPK Publishing House of Standards, 2005. 9 p. (rus)
2. GOST 33133-2014. General automobile roads. Viscous petroleum bitumen. Technical requirements [Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Bitumy neftyanye dorozhnye vyazkie. Tekhnicheskie trebovaniya]. Enter. 10/01/2015. M.: Publishing house of standards, 2015. (rus)
3. GOST R 52056-2003. Cementing polymer-bitumen road based on block copolymers of styrene-butadiene-styrene type. Technical conditions [Vyazhushchie polimerno-bitumnye dorozhnye na osnove blokopolimerov tipa stiroil-butadien-stiroil. Tekhnicheskie usloviya]. Enter. 01/01/2004. M.: Publishing house of standards, 2007. (rus)
4. GOST R 58400.3-2019. General automobile roads. Bituminous petroleum binders. The procedure for determining the brand [Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Materialy vyazhushchie neftyanye bitumnye. Poryadok opredeleniya marki]. Enter. 06/27/2019. M.: IPK Standards Publishing House, 2019. (rus)
5. Vysotskaya M.A., Shekhovtsova S.Yu. The effect of morphology on the quality indicators of polymer-bitumen binder. World of Petroleum Products [Vliyanie morfologii na kachestvennye pokazateli polimerno-bitumnogo vyazhushchego]. Bulletin of oil companies. 2015. No. 11. Pp. 18–24. (rus)
6. Vysotskaya M.A., Shekhovtsova S.Yu. Development and analysis of compositions of polymer-bitumen binders based on the method of multicriteria optimization [Razrabotka i analiz sostavov polimerno-bitumnyh vyazhushchih na osnove metoda mnogokriterial'noj optimizacii]. Construction: science and education. 2017. Vol. 7. No. 4. (rus)
7. The use of sulfur in road construction in Europe and North America [Ispol'zovanie sery v dorozhnom stroitel'stve stran Evropy i Severnoj Ameriki]. URL: <http://www.nestor.minsk.by/sn/1998/42/sn84218.htm>. (date of treatment:12.11.2019) (rus)
8. Kaganovich E.V., Kurchavov V.S. On the use of sulfur in construction and repair roads in the Republic of Kazakhstan [K voprosu ispol'zovaniya sery pri stroitel'stve i remonte avtomobil'nyh dorog v Respublike Kazahstan]. Bulletin of Kazdor Research Institute. 2004. No. 1. Pp. 53–55. (rus)
9. Gorbik G.O. The structure and properties of the modified sulfur-bitumen binder for road construction [Struktura i svoystva modifitsirovannogo serobitumnogo vyazhushchego dlya dorozhnogo stroitel'stva]: dis. ... cand. tech. sciences. Penza, 2006. 177 p. (rus)
10. Sulfur-asphalt concrete against sudden temperature changes [Seroasfal'tobeton protiv rezkih perepadov temperatur]. URL: <http://rosavtodor.ru/activity/news-from-regions/14062.html>. (date of treatment:12.11.2019) (rus)
11. Hadrzynski F. Such. Modelisation du comportement rheologique des bitumes polymeres. Le modele auto coherent. Bulletin des Ponts et Chaussec. 1998. Vol. 214. Pp. 3–18.

12. Uryev N.B., Ivanski M. The use of sulfur in the production of asphalt mixtures in Poland [Primenenie sery pri proizvodstve asfal'tobetonnyh smesej v Pol'she]. Highways. 1989. No. 7. Pp. 26–27. (rus)

13. Strickland D., Collange D., Shaw P., Pag N. Investigation of the properties of asphalt mixtures with sulfur additives at low temperatures. Shell Sulfur Solutions. 16 p.

14. Zartaut M. Beton bitumineur coule an Soufre. Bulletin deliasion labor. des. Ponts es chaussées. 1980. No. 109. Pp. 121–123.

15. Tomkowiak K., Zelinski K. Wplyw dodatku sidrky do asfaltow. Drogownictwo. 1983. No. 2. Pp. 55–59.

16. Dah-yinn L. Modificatoin of asphalt and asphalt paving mixtures by sulfur additives. Ind. And Eng. Chem. Proc. Res and Develop. 1975. No. 3. Pp. 171–177.

17. Kennedi T.W., Haas R., Smith P. An engineering evaluation of sulphur-asphalt. 56-th Agg. Meeting of T.R.B. Jan. 1977. Pp. 146–171.

18. Kortyanovich KV. Improving the properties of road bitumen with modifying additives [Uluchshenie svojstva dorozhnyh bitumov modifitsiruyushchimi dobavkami]: author. dis ... cand. tech. sciences. Ufa, 2007. 17 p. (rus)

19. Plotnikova I.A. The use of sulfur as an additive to oil road bitumen [Ispol'zovanie sery v

kachestve dobavki k neftyanyam dorozhnym bitumam. Neftepereraboka i neftekimiya]. Oil refining and petrochemicals. 1984. No. 11. Pp. 7–9. (rus)

20. Gladkikh V.A., Korolev E.V., Khusid D.L. Structural formation of sulfur-asphalt concrete: the mechanism of interaction of sulfur with bitumen [Strukturoobrazovanie seroasfal'tobetona: mekhanizm vzaimodejstviya sery s bitumom]. Building materials and products. 2015. No. 4. Pp. 4–11. (rus)

21. Syroezhko A.M., Begak O.Yu., Fedorov VV. Modification of road bitumen with sulfur additives [Modifikatsiya dorozhnyh bitumov dobavkami sery]. Chemistry of natural fuels. 2003. No. 3. Pp. 506–511. (rus)

22. GOST 31015-2002. Mixes asphalt concrete and asphalt concrete mastic. Technical conditions [Smesi asfal'tobetonnye i asfal'tobeton shchebenochno-mastichnye. Tekhnicheskie usloviya]. M.: GUP TsPP, 2003. 23 p. (rus)

23. Shekhovtsova S.Yu. Vysotskaya M.A., Korolev E.V. Criteria for thermo-destructive processes in asphalt based on oxidized and residual bitumen [Kriterial'naya ocenka termodestruktivnyh processov v asfal'tobetone na osnove okislennyh i ostatochnykh bitumov]. Bulletin of higher educational institutions. Construction. 2018. No. 5. Pp. 58–70. (rus)

Information about the authors

Kurlykina, Anastasiya V. Master student. E-mail: anastasiyakurlikina@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Denisov, Vasily P. Postgraduate student. E-mail: wp@dorsoft.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Kuznetsov, Dmitry A. PhD, Assistant professor. E-mail: xidox@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Lukash, Eugene A. PhD, Assistant professor. E-mail: svh8@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in November 2019

Для цитирования:

Курлыкина А.В., Денисов В.П., Кузнецов Д.А., Лукаш Е.А. Особенности функционально-технологических решений архитектурных объектов на примере морских пассажирских терминалов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 1. С. 18–25. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-1-18-25

For citation:

Kurlykina A.V., Denisov V.P., Kuznetsov D.A., Lukash E.A. Crushed stone mastic asphalt concrete using grayish technologies. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 1. Pp. 18–25. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-1-18-25