

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 691.3

DOI: 10.34708/GSTOU.2022.57.60.006

СТОЙКОСТЬ АППРЕТИРОВАННЫХ СЕРОАСФАЛЬТОБЕТОНОВ КАУЧУКОМ К ОБРАЗОВАНИЮ КОЛЕИ

© Х.Т. Ле¹, Н.Т. Ву², В.В. Герман²

¹Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург, Россия

²Национальный исследовательский Московский государственный строительный
университет, Москва, Россия

При написании данной статьи был проведен ряд экспериментальных исследований по изучению стойкости аппретированной сероасфальтобетонной смеси к колеобразованию. В результате проведенных исследований было выявлено влияние числа прохода колеса и типа модификатора серы на глубину колеи, а также на угол наклона кривой колееобразования. По итогам исследования был сделан вывод, что сероасфальтобетон лучше сопротивляется воздействию регулярной нагрузки от колес, чем другие виды материалов для производства асфальтобетона. Так, например, если в составе асфальтобетона есть 20% модификатора серы, то восприятие нагрузки увеличивается в 1,2 раза, если в смеси содержится 30% модификатора серы, то эта цифра увеличивается до 1,6, при 40% модификатора серы – до 2,3, а если смесь состоит из 50% модификатора серы, то увеличение происходит в 3,2 раза. Это говорит о том, что чем больше модификатора серы содержится в смеси, тем выше стойкость асфальта к колееобразованию.

Ключевые слова: сероасфальтобетон, асфальтобетон, колеи, техническая сера, прочность.

Введение

Современные условия развития экономики способствуют увеличению количества грузоперевозок. Учитывая возрастающую интенсивность движения и растущую нагрузку на оси транспортных средств для стабильного развития различных отраслей экономики, необходимо обеспечение длительного срока службы автомобильных дорог без значительных эксплуатационных расходов [1]. Одним из многообещающих направлений увеличения прочности, стойкости и других характеристик асфальтовых покрытий дорог считается использование различного вида модификаторов, также и с добавлением в состав покрытия серы [2, 3]. Сера позволяет значительно увеличить стойкость состава и повысить эффективность

сцепления вяжущего материала с поверхностью минерального заполнителя [4-7]. Сероасфальтобетон обладает конкурентными преимуществами по сравнению с традиционными материалами, которые позволяют повысить показатели качества дорожных покрытий за счет повышения физико-механических (прочностные характеристики, устойчивость к сдвигу, параметры структуры) и эксплуатационных свойств (стойкость к действию автотранспорта, стойкость к климатическим факторам) [8-11]. Именно использование серы в качестве модификатора для асфальтобетонов приводит к снижению вязкости расплава битума в процессе изготовления сероасфальтобетонной смеси, а также значительному повышению эксплуатационных свойств сероасфальтобетона при

Таблица 1

Физико-механические показатели битума

Показатель	Требования ГОСТ 22245-90	Фактические значения
1	2	3
Глубина проникания иглы при 25°C, 0,1 мм	61-90	69
Глубина проникания иглы при 0°C, 0,1 мм	Не менее 20	34
Растяжимость при 20 °C, см	Не менее 55	82,7
Растяжимость при 0 °C, см	Не менее 3,5	3,7

повышенных положительных температурах эксплуатации [10-14]. При этом стоит отметить, что использование серы сопровождается некоторыми ограничениями, которые по большей части имеют отношение к возникновению санитарных и гигиенических проблем. Одной из основных проблем является выделение токсичных газов из сероводорода и диоксида серы в окружающую среду. Данные газы возникают в процессе смешивания нагретого битума и серы во время изготовления асфальтобетонной смеси. Как сама сера, так и газы, которые образуются, являются активными веществами. Они могут взаимодействовать с наполнителями на химическом уровне при образовании водорастворимых соединений. Во время данного процесса происходит разрушение дисперсной фазы, а также понижение стойкости сероасфальтобетонной смеси к водной среде [15]. Это привело к тому, что широкое распространение и одобрение при производстве данных полимерных композиционных материалов получило ашплетирование поверхности наполнителя. Это помогает избежать возникновения водорастворимых соединений и увеличить стойкость асфальтобетонной смеси к водным средам, по-

тому что стойкость ашплетированного асфальтобетона к образованию колеи довольно сильно влияет на прочность дорожного покрытия и его износостойкость.

В процессе написания этой научной работы были проведены лабораторные испытания для оценки устойчивости дорожного покрытия к возникновению колеи при помощи метода, который воспроизводит реальные условия эксплуатации дорожного покрытия при его регулярном использовании и нарастании уровня пластических деформаций.

Материалы и методы. В основе настоящего исследования лежит объект, который выступает в виде асфальтобетона с добавлением модификатора серы. При этом асфальтобетон является плотным типа Б и используется для укладки во II дорожно-климатической зоне. При изготовлении асфальтобетона были соблюдены все требования, которые указаны в ГОСТ 9128-2013 «Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия». При изготовлении асфальтобетона использовали следующие материалы:

Таблица 2

Свойства крупного заполнителя

Показатель	Требования ГОСТ 8267-93	Фактические значения
Марка по дробимости	Не менее 1200	1400
Марка по истираемости	И1	И1
Марка по морозостойкости	Не ниже F50	F100
Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы, % по массе, не более	19	16
Содержание пылевидных и глиняных частиц (размером менее 0,05 мм), % по массе, не более	1	0,5

Таблица 3

Гранулометрический состав щебня

Показатель	Сито с размером ячеек, мм				
	20	15	10	5	2,5
Количество частиц мельче данного размера, %	96,6	70,6	27,7	3,5	1,8

– БНД (нефтяной дорожный битум) 60/90 производства ООО «Московский нефтеперерабатывающий завод». Данный БНД отвечает требованиям ГОСТ 22245-90 «Битумы нефтяные дорожные. Технические условия». В таблице 1 представлены физико-химические характеристики данного материала.

– Щебень из габбро-диабаз Карельского месторождения Новый поселок с размером фракций от 5 до 20 мм. Этот материал отвечает требованиям ГОСТ 8267-93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ». В таблицах 2 и 3 показаны характеристики и гранулометрический состав щебня.

– Гранитный песок фракции 0,5-0,8 мм. Данный материал отвечает всем требованиям и рекомендациям ГОСТ 8736-93 «Песок для строительных работ» с содержанием фракции 0,16...0,315 мм – 65,97%, фракции 0,315...0,63 мм – 33,95% (ЗАО «Гора Хрустальная») и отсев камнедробления гранита, соответствующий требованиям ГОСТ 31424 – 2010 «Материалы строительные нерудные из

отсевов дробления плотных горных пород при производстве щебня. Технические условия». В таблицах 4 и 5 можно ознакомиться с характеристиками гранулометрического отсева камнедробления гранита.

– Неактивированный доломитовый минеральный порошок МП-1. МП1 изготавливается в соответствии с ГОСТ 52129-2003 «Порошок минеральный для асфальтобетонных и органоминеральных смесей. Технические условия».

– Техническая сера. Сера соответствует требованиям, которые представлены в ГОСТ 127.1-93 «Сера техническая. Технические условия».

Во время проведения испытаний были использованы современные технологии и оборудование НОЦ «Нanomатериалы и нанотехнологии», НИИИЦ МГСУ СТРОЙ-ТЕСТ НИУ МГСУ по новым методам химической и физической направленности и по современным методикам, которые описаны в нормативной документации.

Таблица 4

Гранулометрический состав отсева камнедробления гранита

Показатель	Сито с размером ячеек, мм							
	10,0	5,0	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	<0,075
Количество частиц мельче данного размера, %	99,3	86	22	13,5	9,4	7,7	5,8	2,3

Таблица 5

Свойства отсева камнедробления гранита

Показатель	Требования ГОСТ	Фактические значения
Марка по прочности	Не менее 1000	1000
Содержание пылевидных и глиняных частиц методом набухания, % по массе, не более	Не более 0,5	0,2
Содержание зерен крупностью свыше 5 мм, % по массе	–	0
Содержание зерен крупностью менее 0,16 мм, % по массе	–	18,0
Плотность истинная, кг/м ³	–	3050

Содержание асфальтобетонной и сероасфальтобетонной смесей подбиралось при учете требований, которые предъявляются ГОСТ 9128-2013 «Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия». Для смешивания всех компонентов использовалось специальное оборудование Bitumix, которое показано на рисунке 1 а. Каждый образец был изготовлен в соответствии с ГОСТ 12801-98 «Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний». Для производства образцов и их соответствия определенным размерам применялся гидравлический пресс ИП-1А-500 АБ ПК, с которым можно ознакомиться на рисунке 1 б. Для производства образцов применяли цилиндры диаметром 71,4 мм, что является стандартной формой для производства данных образцов.

Технологический процесс приготовления асфальтобетонной и сероасфальтобетонной смеси проводили следующим способом:

1. Для начала подготавливают минеральное вещество. Его подают и производят первоначальное дозирование. Затем просушивают и доводят до температуры 140-145 градусов, если речь идет о сероасфальтобетоне, или до 150 градусов, если речь идет об асфальтобетоне;
2. Далее материал снова дозируют и подают в смеситель золу-уноса либо минеральный порошок;

3. В смесителе происходит перемешивание вещества;

4. Подготовка битума или серобитумного вяжущего. Битум высушивают и доводят до температуры 140-145 градусов;

5. После этого минеральное вещество смешивают с битумом;

6. Затем в смесь добавляют определенное количество технической серы, а также нейтрализаторов эмиссии токсичных газов;

7. Далее в смесителе перемешивают материалы до момента, когда все компоненты асфальтобетонной смеси станут однородной массы.

Также стоит сказать, сколько составляет погрешность в процессе приготовления асфальтобетонной смеси:

- $\pm 2\%$ для щебня и отсева дробления;
- $\pm 1,5\%$ для минерального порошка и битума;
- $\pm 1,5\%$ для технической серы и нейтрализаторов эмиссии токсичных газов.

На длительность перемешивания компонентов влияли характеристики смеси до момента, когда все элементы смеси будут распределены равномерно, а минеральный материал будет полностью окутан битумом.

В качестве метода для испытания стойкости к колееобразованию было выбрано воспроизведение реальных условий эксплуатации дорожного покрытия при его регулярном использовании и нарастании уровня пластических деформаций. Метод определения стойкости к



Рис. 1. Оборудование для производства образцов асфальтобетона: а – смеситель BITUMIX; б – гидравлический пресс ИП-1А-500 АБ ПК

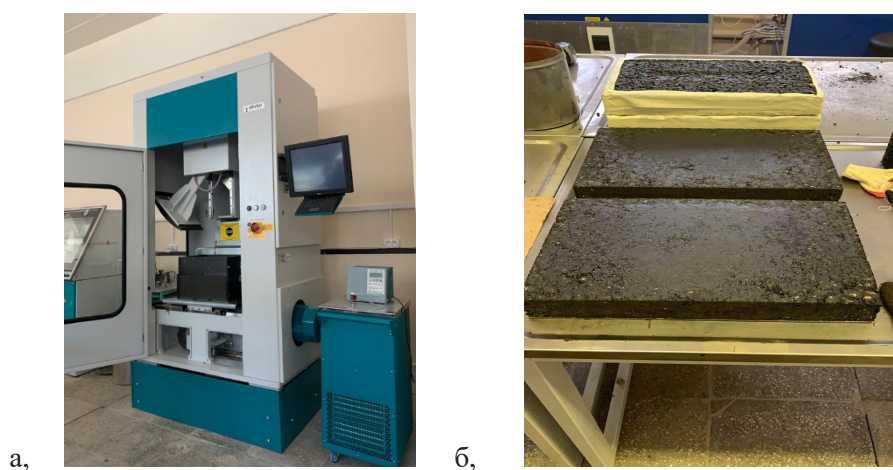


Рис. 2. Секторный уплотнитель Infratest (а) и общий вид опытных образцов (б)

колееобразованию по ГОСТ Р 58406.3–2020 «Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Метод определения стойкости к колееобразованию прокатыванием нагруженного колеса». Все проводимые испытания и исследования были выполнены при температуре 64-66 градусов в воздушной среде, а глубина колеи измеряется после того, как колесо совершит 10 тысяч циклов прохода.

Образцы плит для выявления стойкости к колееобразованию были изготовлены с помощью секторного уплотнителя Infratest (рис. 2а). Требуемый размер образцов – 410 × 260 мм, толщина – 55 мм (рис. 2б). При подготовке образцов были соблюдены требования, которые предъявляются ГОСТ Р 58406.4 «Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобе-

тон. Приготовление образцов-плит вальцовым уплотнителем».

Выявление физических и механических характеристик образцов было проведено по требованиям ГОСТ 9128-2013 «Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия», ГОСТ 12801-98 «Материалы на основе органических вяжущих для дорожного строительства. Методы исследования». Во время проведения метода выявления стойкости асфальтобетона к колееобразованию опирались на ГОСТ Р 58406.3-2020 «Метод определения стойкости к колееобразованию прокатыванием нагруженного колеса» в воздушной среде при температуре $(65 \pm 1)^\circ\text{C}$ (рис. 3).

После проведения 10 тысяч циклов прохода колеса были рассчитаны глубины колеи.



Рис. 3. Установка для проведения испытаний на колееобразование «Infratest»

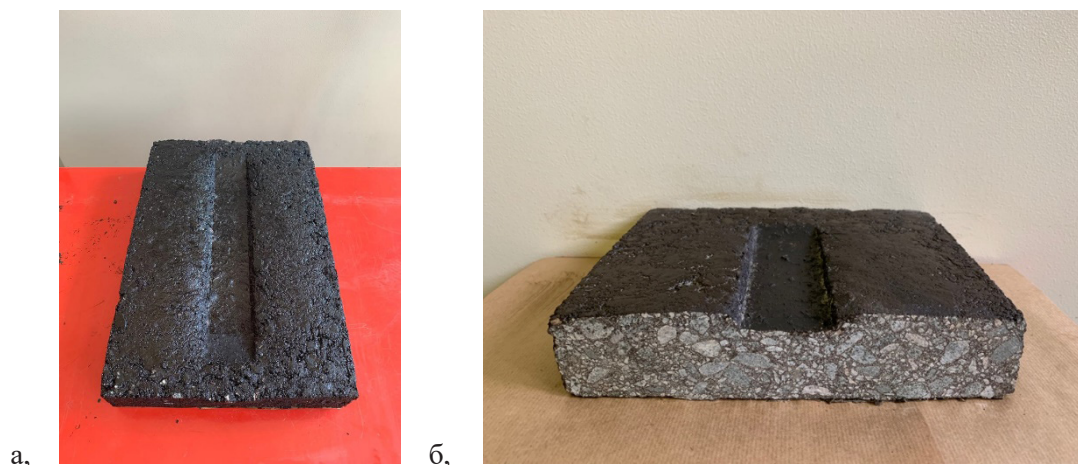


Рис. 4. Опытные образцы после испытаний: а – общий вид; б – в разрезе

На рисунке 4 представлен общий вид опытных образцов после испытаний.

Основная часть. При определении стойкости сероасфальтобетона к колееобразованию были произведены образцы с добавлением различного процента серы: 10%, 30%, 40% и 50% от массы битума. Кроме того, были произведены образцы и без процентного содержания серы. После исследования глубины колеи были получены показатели, которые показаны на рисунке 5.

Задача экспериментально-статического моделирования во время подбора общего вида аппроксимирующей функции основывается на выполнении неформальных операций, внешнего подбора общего вида эксперименталь-

но-статистической модели образования колеи при учете относительных значений суммы квадратов невязок (дисперсии адекватности). Довольно часто такой подход приводит к моделям, которые в должной мере не показывают физико-механические и реологические характеристики и свойства смеси, из которой производят покрытие дорог. В статье сказано, что колея появляется в несколько этапов. На первом по большей части материал доуплотняется. На втором – происходит возникновение деформаций, которые невозможно обратить.

Проанализировав данные, которые получены после проведения испытаний по образованию колеи, формируем модель, показываю-

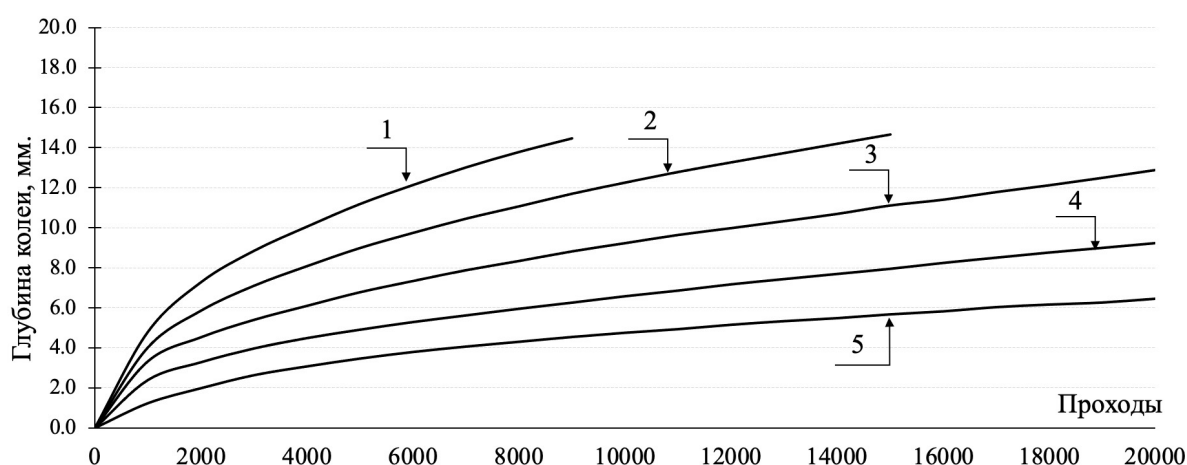


Рис. 5. Влияние числа проходов колеса и процента модификатора серы в смеси на глубину колеи: 1 – асфальтобетон без серного модификатора; 2 – смесь с содержанием 20% серы; 3 – смесь с содержанием 30% модификатора серы; 4 – смесь с содержанием 40% серы; 5 – смесь с содержанием модификатора серы 50%

щую влияние регулярной колесной нагрузки на возникновение пластических деформаций. До уплотнения опытных образцов глубина колеи возрастает очень медленно, доходя в итоге до максимальных показателей. Данные изменения в глубине колеи можно измерить по функции:

$$f_1 = a \left(\frac{2}{1+e^{-bN}} - 1 \right), \quad (1)$$

где a, b – эмпирические коэффициенты.

Процесс накопления необратимых деформаций опытных образцов закономерно представить линейной функцией:

$$f_1 = cN, \quad (2)$$

где c – эмпирические коэффициенты.

Таким образом, влияние количества проходов (N) на образование колеи и ее глубину можно представить в виде:

$$H = H(N) = a \left(\frac{2}{1+e^{-bN}} - 1 \right) + cN, \quad (3)$$

где $H(N)$ – глубина колеи после N -го прохода колеса;

В таблице 6 представлены показатели эмпирических коэффициентов формулы (3).

Скорость образования колеи v_N в момент N -го проезда колеса можно определить по формуле:

$$v_N = \frac{dH}{dN} = \frac{2abe^{-bN}}{(e^{-bN} + 1)^2} + c \quad (4)$$

На рисунке 6 показана зависимость скорости появления колеи от числа проходов колеса и типа модификатора серы.

На рисунке 6 также видно, что сероасфальтобетон больше подвержен образованию колеи, чем контрольный образец. Так, скорость появ-

Таблица 6

Значения параметров модели $H(N)$

Содержание серного модификатора, %	Значение эмпирических коэффициентов		
	a	b	c
0	2,05	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$2,25 \cdot 10^{-4}$
20	3,15	$1,55 \cdot 10^{-3}$	$3,05 \cdot 10^{-4}$
30	4,45	$1,35 \cdot 10^{-3}$	$4,35 \cdot 10^{-4}$
40	5,85	$1,25 \cdot 10^{-3}$	$5,95 \cdot 10^{-4}$
50	7,85	$1,10 \cdot 10^{-3}$	$7,05 \cdot 10^{-4}$

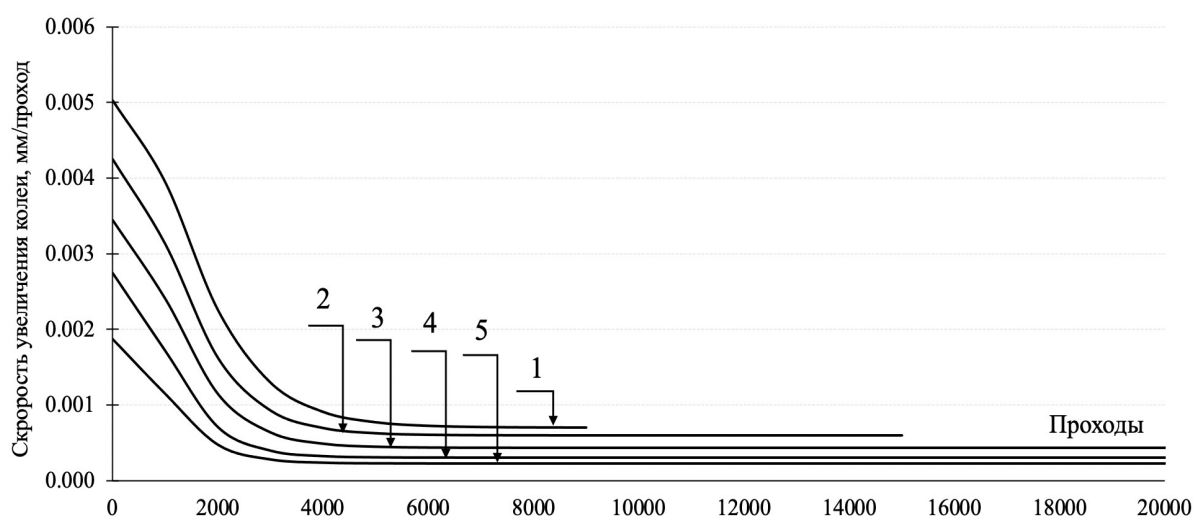


Рис. 6. Влияние числа проходов колеса и процента модификатора серы в смеси на глубину колеи:
 1 – асфальтобетон без серного модификатора; 2 – смесь с содержанием 20% серы; 3 – смесь с содержанием 30% модификатора серы; 4 – смесь с содержанием 40% серы; 5 – смесь с содержанием модификатора серы 50%

ления колеи на образце сероасфальтобетона во время определенного количества проходов колеса по образцу меньше, чем возникновение колеи на контрольном образце за такое же количество проходов колеса. Также отметим, что чем выше процент содержания модификатора серы в смеси, тем ниже скорость возникновения колеи. Это видно из таблицы 6 и уравнения 4. После их анализа видим, что коэффициент c является показателем, который указывает скорость появления колеи в асфальтобетонном покрытии и сероасфальтобетонном покрытии. Сравнив показатели коэффициента c (табл. 6), видим, что чем выше процент модификатора серы в смеси, тем медленнее происходит появление колеи под воздействием проходов колеса (табл. 7).

Во время формирования колеи происходит несколько стадий: доуплотнение и ползучесть. Выявить конкретные места, где происходит смена стадий образования колеи, можно,

принимая во внимание следующее условие: радиус кривизны и радиус, соприкасающийся с окружностью в данной точке кривой, должен быть максимально маленьким. Величина, которая является противоположной радиусу кривизны, – это кривизна кривой. Мы можем найти ее с помощью следующей формулы:

$$K(N) = -\frac{y''}{(\sqrt{y'^2 + 1})^3} \quad (5)$$

где y' , и y'' – производные первого и второго порядка функции 3 .

На рисунке 7 можно увидеть результаты, которые получены при выявлении $K(N)$.

После проведения анализа данных, которые указаны на рисунке 7, можем сделать вывод по поводу границ, которые соответствуют различным стадиям образования колеи:

1. Стадия доуплотнения. Она сопровождается уплотнением асфальтобетонной и сероасфальтобетонной смесей.

Таблица 7

Кратность снижения скорости образования колеи c^*/c_0

Кратность снижения скорости колесобразования	Содержание серного модификатора, %			
	20	30	40	50
c^*/c_0	1,18	1,62	2,31	3,13

Примечание – c^* – Значения коэффициента c для модифицированных составов; c_0 – значения коэффициента c для контрольного состава.

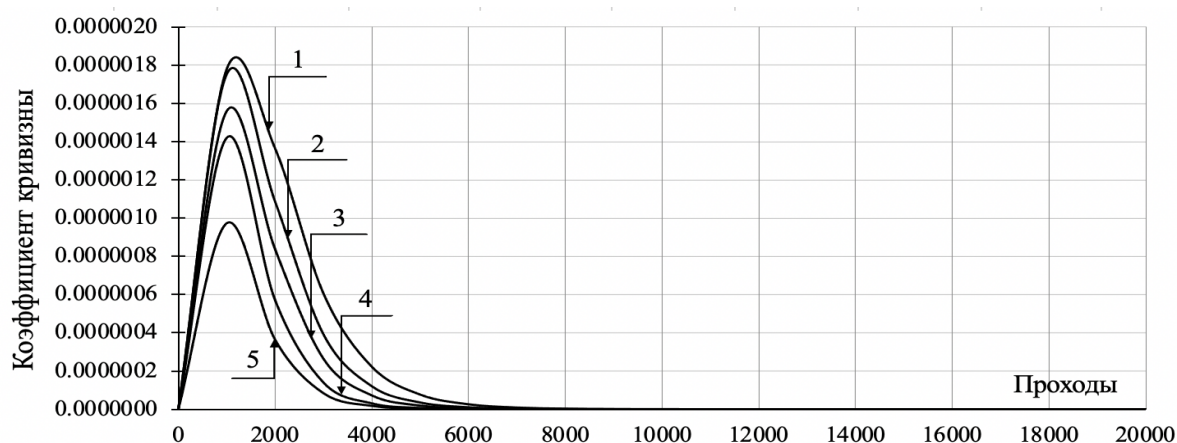


Рис. 7. Влияние числа проходов колеса и процента модификатора серы в смеси на глубину колеи:
1 – асфальтобетон без серного модификатора; 2 – смесь с содержанием 20% серы; 3 – смесь с содержанием 30% модификатора серы; 4 – смесь с содержанием 40% серы; 5 – смесь с содержанием модификатора серы 50%

2. Стадия ползучести. Ей характерно увеличение глубины колеи благодаря повышению количества пластических деформаций.

Рисунок 7 показывает, что первая стадия для контрольного состава асфальтобетона за 650 проходов по колее колеса. Здесь же можно увидеть, что для сероасфальтобетона первая стадия наступает в зависимости от количества модификатора серы в составе. Так, для сероасфальтобетона с 20% содержанием серы количество проходов колеса составляет 550; с 30% содержанием серы – 450; с 40% содержанием серы – 400; с 50% содержанием серы – 350. При этом видим, что глубина колеи асфальтобетона на стадии доуплотнения выше в 1,2-2,9 раза, чем глубина колеи сероасфальтобетона на этой же стадии. При повышенном индексе жесткости отмечается уменьшение длительности стадии доуплотнения сероасфальтобетона, а при увеличенных температурах модуля упругости наблюдается серьезное уменьшение пористости и уплотнения.

Также следует отметить, что по методу определения стойкости к колееобразованию по ГОСТ Р 58406.3-2020 «Метод определения стойкости к колееобразованию прокатыванием нагруженного колеса», лабораторные исследования проходили в течение 10 тысяч циклов нагрузки, или 20 тысяч проходов колеса, либо до

появления 15 мм глубины колеи на каком-либо образце. Самые большие показатели глубины колеи контрольных образцов из асфальтобетонной и сероасфальтобетонной смесей отмечены после проведения 9000 проходов колеса и 15000 соответственно. Через 20000 проходов были отмечены следующие показатели: для смеси с 30% серы – 12,88 мм, с 40% серы – 9,23 мм, с 50% серы – 6,46 мм.

Выводы:

Из всего вышесказанного делаем вывод, что во время лабораторных испытаний было выявлено свойство сероасфальтобетона лучше выдерживать воздействие регулярных проходов колеса, чем у асфальтобетона. Если в смеси содержится 20% модификатора серы, то это свойство увеличивается в 1,2 раза; 30% серы в составе увеличивает сопротивление покрытия в 1,6 раза; при 40% – в 2,3 раза; при 50% – в 3,2 раза. Основной вывод по итогу научной работы: чем выше процент модификатора серы в составе, тем выше устойчивость покрытия к образованию колеи.

Источник финансирования. Настоящее исследование финансировал Научно-исследовательский и испытательный центр НИиИЦ МГСУ СТРОЙ-ТЕСТ ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет».

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев Ю. Э., Ивачев А. В., Братищев И. С. Исследование устойчивости дорожно-строительных материалов к износу колееобразованию в условиях, приближенных к эксплуатационным // Вестник евразийской науки. 2014. № 5 (24). С. 1-14.
2. Дошлов О. И., Калапов И. А. Новые дорожные битумы на основе органического вяжущего, модифицированного технической серой и полимерными добавками // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. № 11 (106). С. 107-111.
3. Тураев Ф. Т., Бекназаров Х. С., Джалилов А. Т. Исследование модификации дорожного битума элементной серой // Universum: технические науки. 2019. № 2 (59). С. 65-69.
4. Gladkikh V., Korolev E., Husid D., Sukhachev I. Properties of sulfur-extended asphalt concrete // MATEC Web of Conferences IPICSE. 2016.
5. Yang R., Ozer H., Ouyang Y., Alarfaj A. H., Islam K., Khan M. I., Khan K. M., Shalabi F. I. Life-Cycle Assessment of Using Sulfur-Extended Asphalt (SEA) in Pavements // Airfield and Highway Pavements. 2019. С. 183-192.
6. Gladkikh V., Korolev E., Smirnov V. Structure and physical properties of sulfur with nanoscale carbon modifiers // E3S Web of Conferences. 2019.
7. Inozemtcev S., Korolev E. Method of Modifying of Mineral Fillers for Asphalt Concrete by Calcium Polysulfide // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019.
8. Васильев Ю. Э. Методологические основы автоматизации процессов промышленного

- производства сероасфальтобетонных смесей с оптимизацией компонентов минеральной части по гранулометрическому составу: авторефер. дис.... докт. тех. наук: 05.13.06. М., 2012. 41 с.
9. Andronov S. Y., Vasiliev Y. E., Timokhin D. K., Repin A. M., Repina O. V., Talalay V. V. Production and use of sulfur-asphalt composite coatings on roads and bridges // *Bulletin of Eurasian Science*. 2016.
 10. Fediuk R., Mugahed Amran Y. H., Mosaberpanah M. A., Danish A., El-Zeadani M., Klyuev S. V., Vatin N. A critical review on the properties and applications of sulfur-based concrete // *Materials*. 2020. № 13 (21).
 11. Yeoh D., Boon K. H., Jamaluddin N. Exploratory study on the mechanical and physical properties of concrete containing sulfur // *Journal Technology Sciences & Engineering*. 2015. № 77 (32) C. 179-188.
 12. Пат. 8361216 США. Method providing for a low release of H₂S during the preparation of sulfur-extended asphalt / Chughtai M. J., Davies H. J., May R. W., Strickland D., onyón. 05/01/2013.
 13. Gladkikh V. A., Korolev E. V. Reducing emissions of hydrogen sulfide and sulfur dioxide from sulfur-bitumen materials // *Internet Herald VolgGASU*. 2014. № 2 (33).
 14. Gladkikh V. A., Korolev E. V. Suppressing the Hydrogen Sulfide and Sulfur Dioxide Emission from Sulfur-bituminous Concrete // *Advanced Materials Research*. 2014. № 1040. C. 387-392.
 15. Медведев В. А., Алексеев В. И., Бергман Г. А., Васильев В. П., Ходаковский И. Л., Гурвич Л. В., Юнгман В. С., Резницкий Л. А., Колесов В. П., Воробьев А. Ф., Монаенкова А. С. и др. Термические константы веществ. Вып. 8. Часть 2. М.: ВИНТИ АН СССР, 1978. 256 с.
 16. Gladkikh V. A., Korolev E. V., Khusid D. L. Resistance of sulfur asphalt concrete to rutting // *Vestnik MGSU*. 2016. № 12. C. 70-78.
 17. Le Kh. T., Gladkikh V. A., Korolev E. V., Grishina A. N. Water resistance of sulfur asphalt concrete. Results of the study and features of the definition // *Building materials*. 2021. № 3. C. 39-44.

RESISTANCE OF SULFUR ASPHALT CONCRETE WITH RUBBER TO RUTS FORMATION

© H.T. Le¹, N.T. Vu², V.V. German²

¹*Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russia*

²*National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia*

When writing this article, a number of experimental studies were carried out to study the resistance of the finished sulfur-asphalt concrete mixture to rutting. As a result of the studies, the influence of the number of wheel passages and the type of sulfur modifier on the rut depth, as well as on the slope of the rutting curve, was revealed. According to the results of the study, it was concluded that sulfur asphalt concrete resists the effects of regular wheel loads better than other types of materials for the production of asphalt concrete. So, for example, if the asphalt concrete contains 20% sulfur modifier, then the load perception increases by 1.2 times, if the mixture contains 30% sulfur modifier, then this figure increases to 1.6, with 40% sulfur modifier – up to 2.3, and if the mixture consists of 50% sulfur modifier, then the increase is 3.2 times. This suggests that the more sulfur modifier is contained in the mixture, the higher the rutting resistance of the asphalt.

Keywords: healthcare, social project, quality, partnership, concession agreement, investment

REFERENCES

1. Vasiliev Yu. E., Ivachev A. V., Bratishchev I. S. (2014) 'Issledovaniye ustoychivosti dorozhno-stroitel'nykh materialov k iznosnomu koleyeobrazovaniyu v usloviyakh, priblizhennykh k ekspluatatsionnym'. *Vestnik yevraziyskoy nauki*. [Study of the resistance of road building materials to wear rutting in conditions close to operational. Bulletin of the Eurasian Science]. № 5 (24), pp. 1-14.
2. Doshlov O. I., Kalapov I. A. (2015) 'Novyye dorozhnyye bitумы na osnove organicheskogo vyazhushchego, modi fitsirovannogo tekhnicheskoy seroy i polimernymi dobavkami'. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. [New road bitumen based on organic binder modified with technical sulfur and polymer additives. Bulletin of the Irkutsk State Technical University]. № 11 (106), pp. 107-111.
3. Turaev F. T., Beknazarov Kh. S., Jalilov A. T. (2019) 'Issledovaniye modifikatsii dorozhnogo bituma elementnoy seroy'. *Universum: tekhnicheskkiye nauki*. [Research on the modification of road bitumen with elemental sulfur. Universum: technical sciences]. № 2 (59). Pp. 65-69.
4. Gladkikh V., Korolev E., Husid D., Sukhachev I. (2016) 'Properties of sulfur-extended asphalt concrete'. *MATEC Web of Conferences IPICSE*.
5. Yang R., Ozer H., Ouyang Y., Alarfaj A. H., Islam K., Khan M. I., Khan K. M., Shalabi F. I. (2019) Life- Cycle Assessment of Using Sulfur-Extended Asphalt (SEA) in Pavements. Airfield and Highway Pavements. Pp. 183-192.
6. Gladkikh V., Korolev E., Smirnov V. (2019) 'Structure and physical properties of sulfur with nanoscale carbon modifiers'. *E3S Web of Conferences*.
7. Inozemtcev S., Korolev E. (2019) 'Method of Modifying of Mineral Fillers for Asphalt Concrete by Calcium Polysulfide'. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*.
8. Vasiliev Yu. E. Methodological bases of automation of processes of industrial production of sulfur-asphalt-concrete mixtures with optimization of the components of the mineral part in terms of granulometric composition: author's abstract. dis.... dr. tech. Sciences: 05.13.06. M., 2012. 41p.
9. Andronov S. Y., Vasiliev Y. E., Timokhin D. K., Repin A. M., Repina O. V., Talalay V. V. (2016) 'Production and use of sulfur-asphalt composite coatings on roads and bridges'. *Bulletin of Eurasian Science*.
10. Fediuk R., Mugahed Amran Y. H., Mosaberpanah M. A., Danish A., El-Zeadani M., Klyuev S. V., Vatin N. (2020) 'A critical review on the properties and applications of sulfur-based concrete'. *Materials*, № 13 (21).
11. Yeoh, D., Boon K. H., Jamaluddin N. (2015) 'Exploratory study on the mechanical and physical properties of concrete containing sulfur'. *Journal Technology Sciences & Engineering*. № 77 (32), pp. 179-188.
12. Chughtai M. J., Davies H. J., May R. W., Strickland D. *Method providing for a low release of H₂S during the preparation of sulfur-extended asphalt*, publ. 05/01/2013, Pat. 8361216 USA.
13. Gladkikh V. A., Korolev E. V. (2014) 'Reducing emissions of hydrogen sulfide and sulfur dioxide from sulfur-bitumen materials'. *Internet Herald VolgGASU*. № 2 (33).
14. Gladkikh V. A., Korolev E. V. (2014) 'Suppressing the Hydrogen Sulfide and Sulfur Dioxide Emission from Sulfur-bituminous Concrete'. *Advanced Materials Research*. № 1040. Pp. 387-392.
15. Medvedev V. A., Alekseev V. I., Bergman G. A., Vasiliev V. P., Khodakovskiy I. L., Gurvich L. V., Yungman V. S., Reznitsky L. A., Kolesov V. P., Vorobyov A. F., Monaenkova A. S., et al. (1978) Thermal constants of substances. Issue. 8. Part 2., VINITI AN SSSR, Moscow, 256 p.
16. Gladkikh V. A., Korolev E. V., Khusid D. L. (2016) 'Resistance of sulfur asphalt concrete to rutting'. *Vestnik MGSU*. № 12. Pp. 70-78.
17. Le Kh. T., Gladkikh V. A., Korolev E. V., Grishina A. N. (2021) 'Water resistance of sulfur asphalt concrete. Results of the study and features of the definition'. *Building materials*. № 3. Pp. 39-44.