

## Методы повышения водостойкости сероасфальтобетона

*Х.Т. Ле<sup>1</sup>, Н.Т. Ву<sup>1</sup>, В.С. Тюрина<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва*

<sup>2</sup>*Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону*

**Аннотация:** Для увеличения срока службы и транспортно-эксплуатационных характеристик покрытий автомобильных дорог, эффективно применять различные модификаторы, среди которых популярной является сера, добавленная в асфальтобетонную смесь. При этом, стоит отметить, что сера, а также ее токсичные газы — это активные вещества, которые могут взаимодействовать на химическом уровне с наполнителями, образуя водорастворимые сульфиды кальция (CaS) и магния (MgS). В результате этого происходит ослабление свойства водостойкости и разрушение дисперсной фазы сероасфальтобетона. Решить эту проблему можно с помощью аппретирования поверхности наполнителя, что является очень эффективным способом при производстве полимерных композитов. Аппретирование позволит исключить формирование водорастворимых сульфидов за счет образования оболочки, которая является непроницаемой для серы. Это предотвратит взаимодействие серы и дисперсной фазы на химическом уровне. Аппретом может выступать: Полиметилсилоксан (ПМС-100), каучук СКДН-Н, золь кремниевой кислоты в среде, содержащей наночастицы Fe(OH)<sub>3</sub> и золь гидроксида железа (III).

**Ключевые слова:** сероасфальтобетон, асфальтобетон, водостойкость, прочность, серобитумные вяжущие, наноразмерная добавка.

В процессе длительного использования асфальтобетона происходят изменения структуры и снижение механических характеристик, что может сильно снизить срок службы автодорог [1,2]. Для увеличения срока эксплуатации асфальтобетонного покрытия, сейчас активно используют серу, как добавку к асфальтобетонным смесям. [3,4]. Добавление серы способствует повышению прочности смеси и связыванию вяжущего с поверхностью минерального заполнителя [5,6].

Однако сероасфальтобетон лишь используется для укладки дорог. Это связано с токсичными газами - сероводородом и диоксидом серы, выделяющимися из смеси при производстве и укладке [7,8]. В результате происходит ослабление свойства водостойкости и разрушение дисперсной фазы сероасфальтобетона [9,10]. В связи с этим, разработка способов

повышения водостойкости сероасфальтобетона является актуальной проблемой. Целью настоящей работы является экспериментальное исследование повышения водостойкости сероасфальтобетона методом аппретирования поверхности наполнителя при длительном водонасыщении.

Объект исследования — это плотный асфальтобетон типа Б для II дорожно-климатической зоны, который модифицирован добавлением серы. Данный асфальтобетон разработан при учете требований ГОСТ 9128-2013 и имеет в своем составе следующие компоненты: битум нефтяной дорожный БНД 60/90; щебень с размером фракций от 5 до 20 мм; гранитный песок; неактивированный доломитовый минеральный порошок МП-1; кристаллическая сера; синтетический жидкий каучук марки СКДН-Н (ТУ 38.103551-82); наноразмерная добавка на основе золь гидроксида железа (III) и кремниевой кислоты (указанную наноразмерную добавку получают посредством совмещения золь гидроксида железа (III) и кремниевой кислоты); ПМС-100 полиметилсилоксан.

Определение физико-механических свойств асфальтобетона проходило, в соответствии с ГОСТ 9128-2013 и ГОСТ 12801-98, при температуре 20 °С.

Для того, чтобы получить актуальные результаты при оценке свойств водостойкости сероасфальтобетона были сделаны две заготовки: сероасфальтобетон без аппретирования поверхности наполнителя и сероасфальтобетон (объем серы — 30% от общей массы битума). Кроме того, было выполнено исследование кинетики изменения прочности сероасфальтобетона без модификатора и модифицированного сероасфальтобетона. Результаты данного исследования представлены на рис. 1.

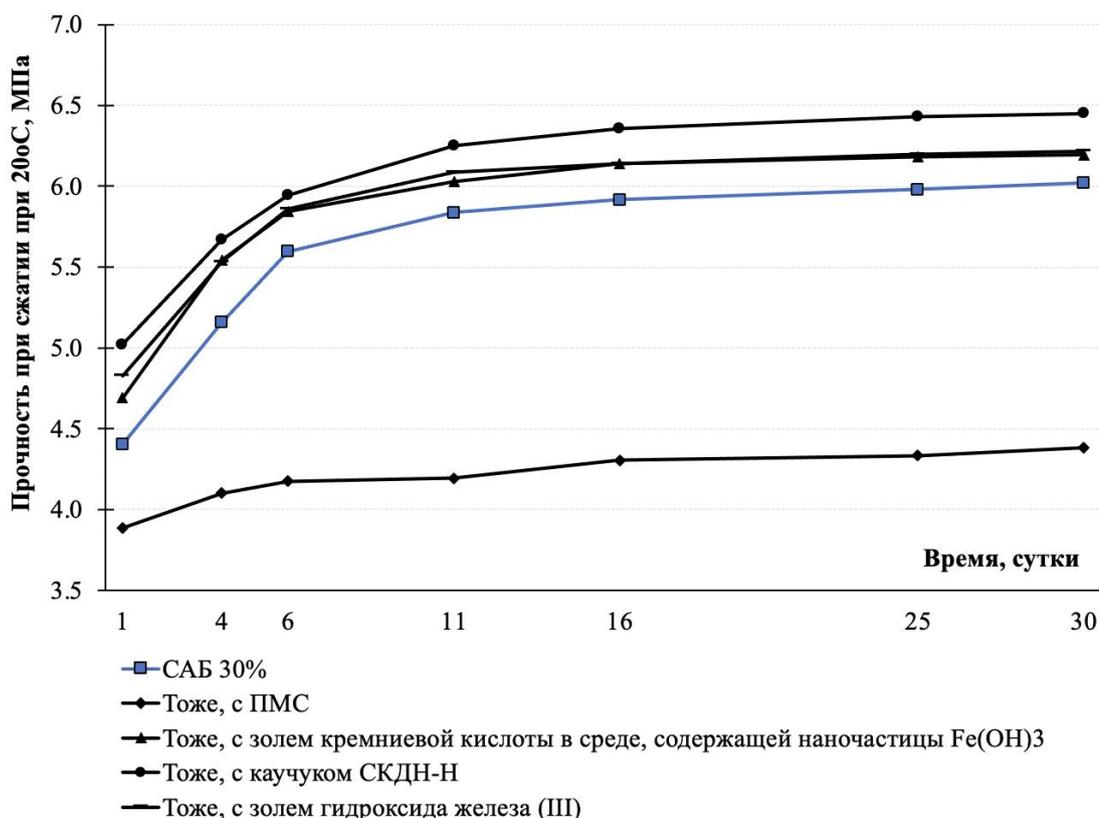


Рис. 1. – Кинетика набора прочности модифицированного и контрольного составов

Анализ экспериментальных данных (рис. 1) показал, что изменения прочности материала адекватно описываются математической моделью вида:

$$R(t) = R_{\max} - be^{-kt}, \quad (1)$$

где  $R_{\max}$  – максимальная прочность;  $t$  – продолжительность хранения образцов после изготовления;  $b, k$  – эмпирические коэффициенты.

При  $t=0$  прочность материала равна:  $R(0) = R_{\max} - b$ . Отсюда  $b = R_{\max} - R(0)$ , что соответствует максимальному увеличению прочности материала, т.е.  $b = \Delta R_{\max}$ . Коэффициент  $k$  характеризует интенсивность изменения прочности материала. При  $t^* = n/k$  (здесь  $n=1, 2, 3, \dots$ ) из (1) увеличение прочности материала составит:

$$R(t^*) = R(0) + \Delta R_{\max} \frac{(e^n - 1)}{e^n}, \quad (2)$$

где  $e$  – число Эйлера.

В процессе увеличения длительности хранения (отметим ее, как  $n$ ) прочность вещества будет увеличиваться и дойдет до величины  $R_{\max}$ . Однако, скорость роста прочности уменьшается:

$$\frac{dR}{dn} = \frac{1}{e^n}. \quad (3)$$

Значения эмпирических коэффициентов формулы (1) приведены в таблице 1. При этом обозначения состава сероасфальтобетона приводятся ниже: состав №1: контрольный состав сероасфальтобетона с 30% серы; состав №2: также, с аппретированиями поверхности наполнителя полиметилсилоксана; состав №3: также, с золом кремниевой кислоты в среде, содержащей наночастицы  $Fe(OH)_3$ ; состав №4: также, с каучуком СКДН-Н; состав №5: также, с золом гидроксида железа (III).

Таблица № 1

Значения эмпирических коэффициентов

Эмпирич. коэфф.	Контр. состав (1)	Составы			
		2	3	4	5
$R_{\max}$ , МПа	5,910	4,384	6,193	6,45	6,216
$b$ , МПа	2,010	0,805	2,050	2,225	2,020
$k$ , сут <sup>-1</sup>	0,275	0,205	0,275	0,275	0,275

Во время анализа рис. 1 и таблицы 1 было выявлено, что самое низкое значение коэффициента  $b = \Delta R_{\max}$ , которое показывает самую высокую прочность материала, отмечается у сероасфальтобетона, поверхность наполнителя которого аппретирована полиметилсилоксаном. Также, данный состав имеет самый низкий коэффициент  $k$ , который характеризует интенсивность увеличения прочности, а также самую высокую прочность  $R_{\max}$ . Это говорит о том, что в результате использования полиметилсилоксана в виде аппретирования поверхности наполнителя, прочность материала может снизиться.

В случае аппретирования поверхности наполнителя иными веществами, наблюдается увеличение прочности материала: значения коэффициента  $R_{max}$  и  $b = \Delta R_{max}$  выше, чем контрольного состава. Стоит отметить, что самые высокие значения показывает сероасфальтобетон с каучуком. При использовании указанных аппретов отмечается не изменение значений коэффициента  $k$ , характеризующего интенсивность увеличения прочности сероасфальтобетонов.

При исследовании водостойкости сероасфальтобетонов было установлено, что коэффициент водостойкости зависит от используемого для расчета значения прочности сероасфальтобетона до проведения испытаний. Указанное связано с возрастанием прочности сероасфальтобетона в возрасте до 10 суток. Поэтому показано, что методологически верно использовать для расчета коэффициента водостойкости фактическое значение прочности сероасфальтобетона, а не начальную прочность. На рис. 2 представлены результаты определения водостойкости образцов, с использованием для расчетов фактического значения прочности материала.

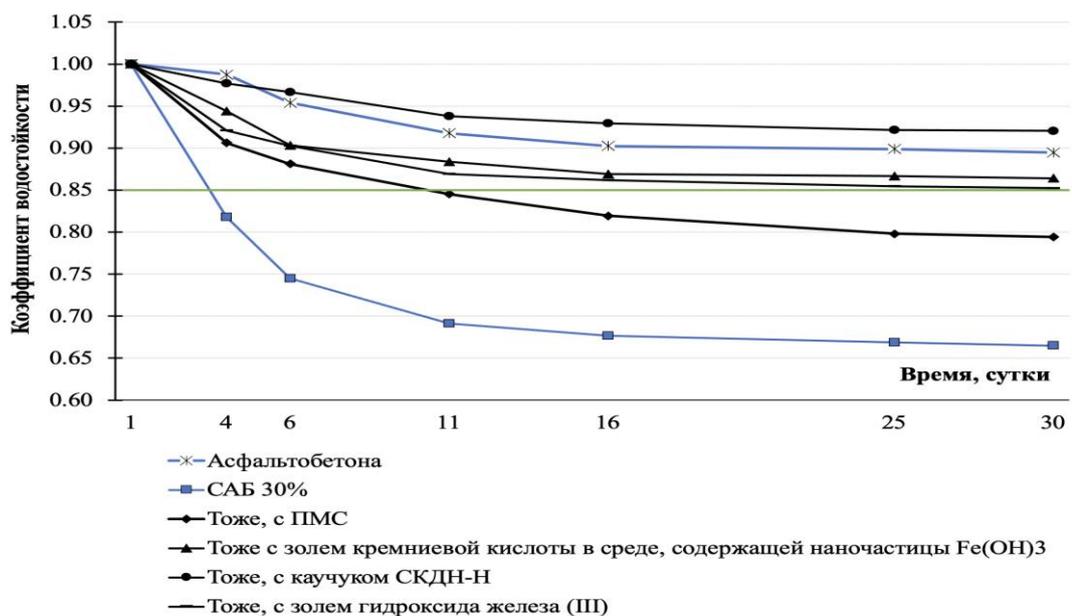


Рис. 2. – Водостойкость модифицированного и контрольного составов

При анализе данных на рис. 1 и 2 выявлено, что конкурирующие процессы появляются в результате изменения параметров структуры асфальтобетона, которые возникают из-за технической серы и аппрету.

Экспериментально установлено, что водостойкость сероасфальтобетона при длительном водонасыщении можно повысить, используя методом аппретирования поверхности наполнителя. Наиболее эффективным аппретом является каучук СКДН-Н, также эффективно применение золя кремниевой кислоты в среде, содержащей наночастицы  $Fe(OH)_3$  и золь  $Fe(OH)_3$ . Низкую эффективность повышения водостойкости имеет полиметилсилоксан, применение его в качестве аппрету поверхности наполнителя приводит к уменьшению прочности материала.

### 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. Yang R., Ozer H., Ouyang Y., Alarfaj A.H., Islam K., Khan M.I., Khan K.M., Shalabi F.I. LifeCycle Assessment of Using Sulfur–Extended Asphalt (SEA) in Pavements // Airfield and Highway Pavements. 2019. С. 183–192.

5. 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) pp. 179–188.

6. Gladkikh V.A., Korolev E.V. Suppressing the Hydrogen Sulfide and Sulfur Dioxide Emission from Sulfur-bituminous Concrete // Advanced Materials Research. 2014. №1040. pp. 387–392.

7. Туан Л. Х. Физико–механические свойства серобитумных вяжущих и сероасфальтобетонов //Инженерный вестник Дона. 2022. №6. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n6y2022/7745.

8. Черных Д.С., Строев Д.А., Задорожний Д.В., Горелов С.В. Оценка влияния количества асфальтогранулята и технологии его подачи на свойства приготавливаемых асфальтобетонных смесей //Инженерный вестник Дона. 2013. №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/ n4y2013/2197.

9. Ле Х.Т., Гладких В.А., Королев Е.В., Гришина А.Н. Водостойкость сероасфальтобетона. Результаты исследования и особенности определения // Строительные материалы. 2021. № 3. С. 39–44.

10. Исраилова З.С., Цамаева П.С., Страхова Н.А. Влияние химического состава битумов на водостойкость асфальтобетона // Естественные и технические науки. 2008. № 5(37). С. 246–248.

### References

1. Vasil'ev Ju.Je., Ivachev A.V., Bratishhev I.S. Vestnik evrazijskoj nauki. 2014. №5(24). pp. 1–14.

2. Doshlov O.I., Kalapov I.A. Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. 2015. №11(106). pp. 107–111.

3. Turaev F.T., Beknazarov H.S., Dzhalilov A.T. Universum: tehničeskie nauki. 2019. №2(59). pp. 65–69.

4. Yang R., Ozer H., Ouyang Y., Alarfaj A.H., Islam K., Khan M.I., Khan K.M., Shalabi F.I. Airfield and Highway Pavements. 2019. pp. 183–192.



5. Yeoh D., Boon K.H., Jamaluddin N. Journal Technology Sciences & Engineering. 2015. №77(32). pp. 179–188.
6. Gladkikh V.A., Korolev E.V. Advanced Materials Research. 2014. №1040. pp. 387–392.
7. Tuan L. H. Inzhenernyj vestnik Dona. 2022. №6. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n6y2022/7745](http://ivdon.ru/magazine/archive/n6y2022/7745).
8. Chernykh D.S., Stroyev D.A., Zadorozhniy D.V., Gorelov S.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2013. №4 URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2197](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2197).
9. Le H.T., Gladkih V.A., Korolev E.V., Grishina A.N. Stroitel'nye materialy. 2021. № 3. pp. 39–44.
10. Israilova Z.S., Camaeva P.S., Strahova N.A. Estestvennye i tehnicheckie nauki. 2008. №5 (37). pp. 246–248.