

Научная статья  
УДК 541.64  
EDN: QCSJMIR  
DOI: 10.21285/achb.971



## Влияние состава блок-сополимеров на основе стирола и бутадиена на свойства полимерных битумных вяжущих

А.А. Кривошеин✉, Н.С. Шаглаева

Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
Иркутск, Российская Федерация

**Аннотация.** Нефтяные дорожные битумы для строительства автомобильных, мостовых и аэродромных покрытий не удовлетворяют предъявляемым к ним требованиям по трещиностойкости, теплостойкости, эластичности, адгезии к поверхности минеральных материалов. Введение в состав нефтяных дорожных битумов термоэластопластов повышает эксплуатационные свойства покрытия. Данные обстоятельства определяют актуальность исследований в этой области. Данная работа посвящена получению полимер-битумных композиций при добавлении в нефтяной дорожный битум блок-сополимеров на основе стирола и бутадиена, пластификатора, а также изучению некоторых его свойств. В качестве пластификатора было использовано индустриальное масло И-40 производства АО «Ангарская нефтехимическая компания». Для проведения исследований были испытаны нефтяные дорожные битумы БНД 100/130, блок-сополимеры стирола и бутадиена производства России и Китая. В инфракрасном спектре сополимеров наблюдаются полосы поглощения при 3061, 3024, 1640, 1601, 1450, 1493, 756, 730, 659 см<sup>-1</sup>, которые относятся к стирольным звеньям, фрагменты бутадиена регистрируются в области 994, 964 и 911 см<sup>-1</sup>. По данным элементного анализа, содержание бутадиеновых фрагментов в сополимере производства Китая в 3,1 раза больше, чем в сополимере производства России. Установлено, что при увеличении процентного содержания сополимера в нефтяном дорожном битуме динамическая вязкость и значение растяжимости композиции возрастают, а температура его хрупкости понижается. С увеличением содержания бутадиеновых звеньев в сополимере динамическая вязкость, температура размягчения и хрупкости, значения пенетрации и растяжимости возрастают, причем для сополимера производства Китая данные значения выше аналогичных величин, характерных для сополимера производства России.

**Ключевые слова:** полимерно-битумные вяжущие, пластификатор, нефтяной дорожный битум, сополимер стирол-бутадиен-стирол

**Для цитирования:** Кривошеин А.А., Шаглаева Н.С. Влияние состава блок-сополимеров на основе стирола и бутадиена на свойства полимерных битумных вяжущих // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2025. Т. 15. N 2. С. 262–268. DOI: 10.21285/achb.971. EDN: QCSJMIR.

### CHEMICAL SCIENCES

#### Original article

## Effect of styrene/butadiene block copolymer composition on the properties of polymer bitumen binders

Andrey A. Krivoshein✉, Nina S. Shaglaeva

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation

**Abstract.** Paving bitumens intended for use in the construction of road, bridge, and airfield pavements do not meet the requirements for crack resistance, heat resistance, elasticity, and adhesion to the surface of mineral materials. Pavement performance can be improved by the addition of thermoplastic elastomers to paving bitumens. These factors determine the relevance of research in this area. This study focused on obtaining polymer bitumen compositions by the addition

of styrene/butadiene block copolymers and a plasticizer to paving bitumen, as well as studying some of its properties. Industrial oil I-40 produced by Angarsk Petrochemical Company was used as the plasticizer. BND 100/130 bitumen and styrene/butadiene block copolymers produced in Russia and China were tested. The infrared spectrum of the copolymers exhibits styrene-related absorption bands at 3061, 3024, 1640, 1601, 1450, 1493, 756, 730, and 659  $\text{cm}^{-1}$ ; butadiene segments are recorded around 994, 964, and 911  $\text{cm}^{-1}$ . The elemental analysis shows that the content of butadiene segments is 3.1 times higher in the Chinese copolymer than in the copolymer produced in Russia. It was found that with the increasing percentage of copolymer content in the paving bitumens, the dynamic viscosity and extensibility of the composition increase, and its brittleness temperature decreases. With the growing content of butadiene units in the copolymer, dynamic viscosity, softening and brittleness temperatures, penetration, and extensibility increase; for the Chinese copolymer, these parameters are higher than those of the copolymer produced in Russia.

**Keywords:** polymer bitumen binders, plasticizer, paving bitumen, styrene–butadiene–styrene copolymer

**For citation:** Krivoshein A.A., Shaglaeva N.S. Effect of styrene/butadiene block copolymer composition on the properties of polymer bitumen binders. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2025;15(2):262-268. (In Russian). DOI: 10.21285/achb.971. EDN: QCJMIR.

## ВВЕДЕНИЕ

Развитие дорожно-транспортной инфраструктуры в России является важным направлением формирования национальной экономики и промышленности. Высокое качество современных автомобильных дорог способствует экономическому росту страны, а также повышению качества жизни граждан. В связи с этим строительство дорожных и мостовых покрытий, обладающих высокими эксплуатационными характеристиками, является приоритетной задачей дорожно-строительной отрасли России.

Применение нефтяного дорожного битума в качестве асфальтобетонных покрытий не обеспечивает требуемой долговечности дорожного полотна из-за низкой стойкости к динамической нагрузке, теплостойкости, эластичности и адгезии к минеральным материалам кислых пород. Повышение качества и долговечности автомобильных дорог удастся достичь при использовании полимерно-битумных вяжущих, которые состоят из нефтяного дорожного битума, (со)полимеров различных классов, пластификатора и поверхностно-активного вещества [1–10].

Поверхностно-активное вещество обеспечивает необходимую адгезию к минеральным материалам кислых и основных пород. Пластифицирующие добавки снижают температуру хрупкости и не влияют на температуру размягчения полимерно-битумных вяжущих [11, 12]. В качестве пластификатора находит применение индустриальное масло, поскольку его температура вспышки превышает 200 °С. Кроме того, при температуре 140–150 °С индустриальное масло образует устойчивую композицию с битумом и сополимерами на основе стирола и бутадиена. Доля вводимого индустриального масла в полимерно-битумных вяжущих составляет от 5 до 20%. Основной целью введения (со)полимеров в битум является расширение температурного интервала эксплуатации дорожного полотна. Полимерная матрица способствует увеличению температуры размягчения и вязкости полимерно-битумных вяжущих и придает ему эластичные свойства.

Введение блок-сополимеров на основе стирола и бутадиена (блок-сополимеров типа стирол–бутадиен–стирол (СБС)) в нефтяной дорожный битум повышает физико-механические свойства полимерно-битумных вяжущих [2, 13–22]. Это означает, что модифицирование нефтяного дорожного битума блок-сополимерами СБС является одним из перспективных способов решения проблемы прочности и долговечности дорожного полотна.

В связи с вышесказанным целью проведенного исследования являлось изучение влияния состава блок-сополимеров СБС на свойства полимерных битумных вяжущих.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для проведения исследований были испытаны нефтяные дорожные битумы БНД 100/130, сополимеры СБС-1 (производство Россия), СБС-2 (производство Китай). В качестве пластификатора использовали индустриальное масло И-40 (производство АО «Ангарская нефтехимическая компания»).

Получение модифицированного полимерно-битумного вяжущего осуществляли двумя способами.

Первый способ заключался в том, что к нефтяному дорожному битуму, предварительно нагретому до температуры 100 °С, добавили при перемешивании рассчитанное количество сополимера СБС (1, 2, 3% от общей массы), масло индустриальное И-40 (соотношение И-40 к сополимеру СБС составляло 8:1) с последующим повышением температуры до 175 °С. Перемешивание осуществляли при температуре 175 °С в течение 6 ч, затем полученную смесь охлаждали до комнатной температуры.

В рамках второго способа вначале к сополимеру СБС (1, 2, 3%) добавили при перемешивании масло индустриальное И-40 (соотношение И-40 к сополимеру СБС составляло 8:1), полученную смесь выдерживали при температуре 100 °С в течение 1 ч. Далее к нефтяному дорожному битуму, предварительно нагретому до температуры 100 °С, добавили заранее подготовленную смесь с последующим повышением температуры до 175 °С. Перемешивание осуществляли при температуре 175 °С в течение 6 ч, затем полученную смесь охлаждали до комнатной температуры.

Элементный анализ продуктов реакции проводили на газоанализаторе Thermo Finnigan (Thermo Finnigan, Италия).

Расчет состава сополимеров осуществляли по методике, приведенной в работе [23]:

$$C = \frac{a_1 X + a_2 \times (100 - X)}{100} = \frac{100 a_2 \times X (a_1 - a_2)}{100},$$
$$C = \frac{a_1 Y + a_2 \times (100 - Y)}{100} = \frac{100 a_2 \times Y (a_1 - a_2)}{100},$$

где С – содержание углерода по данным элементного анализа; Х – содержание стирольных звеньев в сопо-

лимере;  $Y$  – содержание бутадиеновых звеньев в сополимере;  $a_1$  – содержание углерода в мономере стирола  $X$ ;  $a_2$  – содержание углерода в мономере бутадиена  $Y$ .

Инфракрасные (ИК) спектры сополимеров были сняты на спектрометре IFS-25 (Bruker, Германия) в виде пленок, полученных из растворов сополимера СБС в толуоле.

Групповой анализ индустриального масла И-40 проводили методом тонкослойной хроматографии (ТСХ) с использованием пластинок Silufol. В качестве элюента использовали: толуол, бензол, октан, гептан, петролейный эфир. Пробы наносили микрошприцем по 1 мкл на пластинку ТСХ. После испарения растворителя пластинку опускали в разделительную камеру с элюентом.

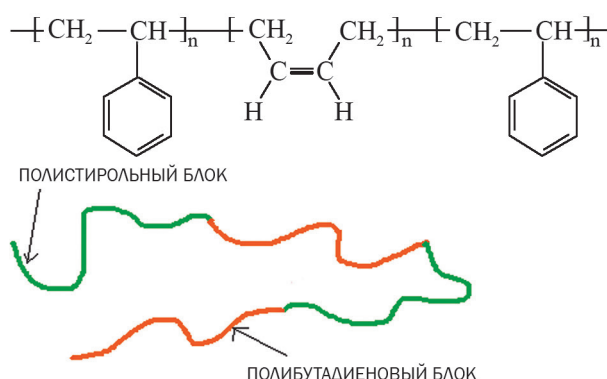
Плотность индустриального масла И-40 определяли с помощью пикнометра и ареометра.

Определение температуры хрупкости и размягчения, значений растяжимости и пенетрации полученных полимерно-битумных вяжущих проводили согласно требованиям ГОСТ Р 52056-2003<sup>1</sup>.

Измерение динамической вязкости полимерно-битумных вяжущих проводили на ротационном вискозиметре серии Smart (FungiLab, Испания) (ГОСТ 33137-2014<sup>2</sup>).

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Блок-сополимер СБС состоит из блоков стирола, разделенных блоками бутадиена:



Блоки, состоящие из звеньев стирола и бутадиена, цепляясь своими концевыми группами один к другому, образуют структуру, напоминающую сетку, которая обладает разными физическими свойствами [9–12].

Полибутадиен остается эластичным при температуре минус 60 °С, тогда как полистирольные звенья остаются жесткими до температуры стеклования полистирола, достигающей 100 °С. Каждая составляющая сополимера отвечает за эластичность в различных температурных диапазонах, что позволяет сополимеру СБС демонстрировать эластичные свойства в широком температурном спектре. В результате растворения блок-сополимера в битуме образуются структуры, способствующие повышению теплостойкости (полимерно-битумных вяжущих) по сравнению с исходным битумом. Пластифицирующие добавки в полимерно-битумных вяжущих не только содействуют более эффективному растворению полимера в битуме, но и понижают температуру хрупкости композиции [13–18]. Наиболее востребованными и эффективными пластификаторами считаются индустриальные масла марок И-20, И-30, И-40. Изучение группового состава индустриального масла И-40 методом ТСХ (табл. 1) показало высокое содержание ароматических соединений (64%), а также смол (20%), парафинов и нафенов (16%). В связи с этим предполагается, что содержание в составе индустриального масла И-40 ароматических соединений, смол, парафинов и нафенов будет способствовать растворению сополимера СБС в полимерно-битумных вяжущих с образованием однородной и устойчивой смеси.

Сополимеры СБС-1 и СБС-2 представляют собой порошкообразные вещества кремового цвета и по внешнему виду не различаются. Перед проведением элементного анализа сополимеры перемешивали и измельчали в мелкий порошок, и после такой подготовки образцов проводили их элементный анализ. На основании данных элементного анализа рассчитаны количества стирольных и бутадиеновых звеньев в сополимере СБС (табл. 2). Содержание стирольных звеньев в сополимере СБС-1 в 2,2 раза больше, чем в сополимере СБС-2, а количество бутадиеновых фрагментов в сополимере СБС-2 в 3,1 раза больше, чем в сополимере СБС-1.

ИК-спектры сополимеров СБС-1 и СБС-2 идентичны (рисунок). В ИК-спектре сополимеров наблюдаются полосы поглощения при 3061, 3024, 1640, 1601, 1450, 1493, 756, 730, 659 см<sup>-1</sup>, которые относятся к стирольным звеньям, фрагменты бутадиена регистрируются в области 994, 964 и 911 см<sup>-1</sup>.

Предполагалось, что способ подготовки исходных компонентов для получения полимерно-битумных вяжущих будет влиять на их свойства, поэтому эксперименты проводились двумя методами:

**Таблица 1.** Групповой анализ экстракта селективной очистки масел

**Table 1.** Group analysis of the extract of selective oil purification

| Исследуемое вещество | Содержание ароматических соединений, % | Содержание парафинов и нафенов, % | Содержание смол, % | Содержание фракций, не растворимых в петролейном эфире, % | Плотность, г/см <sup>3</sup> | Условная вязкость при 100 °С |
|----------------------|----------------------------------------|-----------------------------------|--------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| И-40                 | 64                                     | 16                                | 20                 | 0                                                         | 0,869                        | 10,2                         |

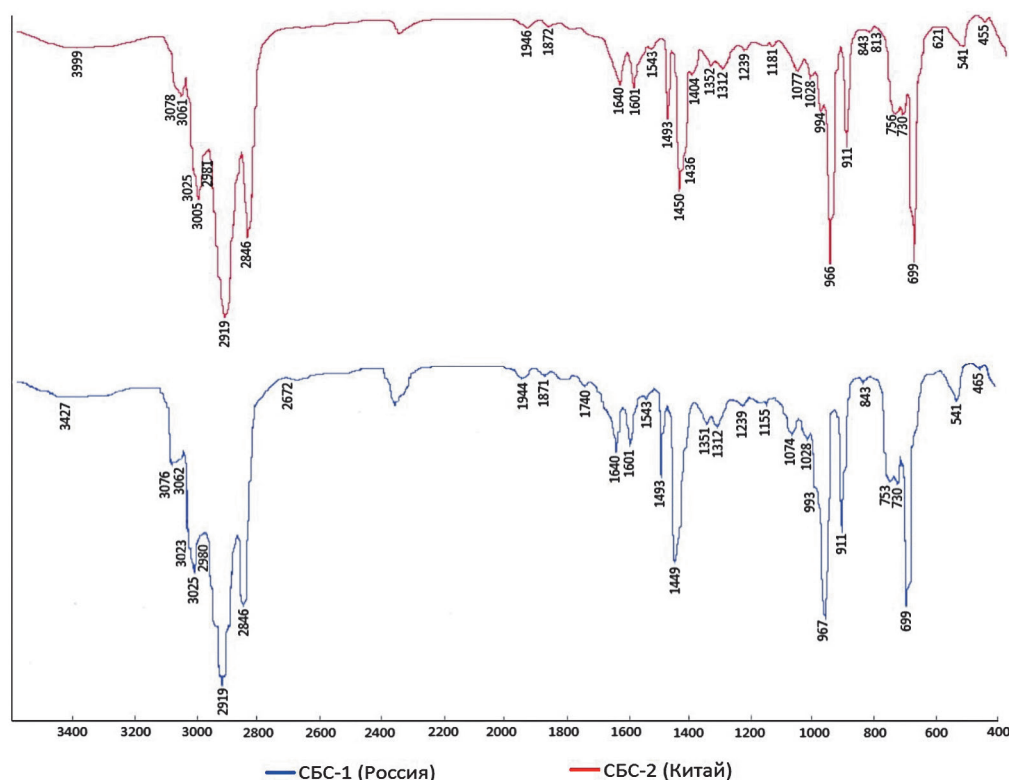
<sup>1</sup> ГОСТ Р 52056-2003. Вяжущие полимерно-битумные дорожные на основе блоксополимеров типа стирол–бутадиен–стирол. Технические условия. М.: Госстандарт России, 2003. 8 с.

<sup>2</sup> ГОСТ 33137-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Метод определения динамической вязкости ротационным вискозиметром. Метод определения динамической вязкости ротационным вискозиметром. М.: Стандартинформ, 2019. 11 с.

**Таблица 2.** Состав сополимеров на основе стирола и бутадиена

**Table 2.** Composition of styrene and butadiene-based copolymers

| Сополимер | Страна-производитель | Состав сополимера          |                              |
|-----------|----------------------|----------------------------|------------------------------|
|           |                      | Стирольных звеньев, мол. % | Бутадиеновых звеньев, мол. % |
| СБС-1     | Россия               | 79,42                      | 20,58                        |
| СБС-2     | Китай                | 36,09                      | 63,91                        |



ИК-спектры сополимеров

IR spectra of copolymers

1. К предварительно нагретому битуму при перемешивании одновременно добавили СБС и пластификатор и далее осуществляли перемешивание в течение 6 ч.

2. В заранее подготовленную смесь СБС и пластификатора ввели предварительно нагретый битум и далее осуществляли перемешивание в течение 6 ч.

В ходе исследования были проанализированы полученные образцы модифицированных битумов, приготовленных различными способами.

Из данных, представленных в табл. 3, видно, что при увеличении процентного содержания сополимера в нефтяном дорожном битуме динамическая вязкость и значение

**Таблица 3.** Результаты лабораторных исследований при одновременном добавлении в битум сополимера на основе стирола и бутадиена и пластификатора И-40

**Table 3.** Laboratory test results with simultaneous addition of bitumen, copolymer (SBS) and plasticizer I-40

| Содержание сополимера, % | Страна-производитель | Динамическая вязкость при 135 °С, Па·с | Температура размягчения КиШ*, °С | Температура хрупкости, °С | Пенетрация 25 °С, 0,1 мм | Растяжимость 25 °С, см |
|--------------------------|----------------------|----------------------------------------|----------------------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------|
| 1                        | Россия               | 0,23                                   | 43,2                             | -32                       | 140                      | 32                     |
| 2                        | Россия               | 0,27                                   | 50,8                             | -36                       | 193                      | 33                     |
| 3                        | Россия               | 0,28                                   | 44,1                             | -38                       | 198                      | 36                     |
| 1                        | Китай                | 0,27                                   | 43,8                             | -32                       | 124                      | 58                     |
| 2                        | Китай                | 0,27                                   | 49,2                             | -36                       | 228                      | 71                     |
| 3                        | Китай                | 0,28                                   | 52,5                             | -38                       | 232                      | 72                     |

Примечание. \* – здесь и в табл. 4 имеется в виду метод определения температуры размягчения по кольцу и шару, описанный в ГОСТ 11506-73<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> ГОСТ 11506-73. Битумы нефтяные. Метод определения температуры размягчения по кольцу и шару. М.: Стандартинформ, 2009. 8 с.

**Таблица 4.** Результаты лабораторных исследований при добавлении в битум заранее подготовленной смеси сополимера на основе стирола и бутадиена и пластификатора И-40

**Table 4.** Laboratory test results when a pre-prepared mixture of copolymer (SBS) and plasticizer (I-40) was added to bitumen

| Содержание сополимера, % | Страна-производитель | Динамическая вязкость при 135 °С, Па·с | Температура размягчения КиШ, °С | Температура хрупкости, °С | Пенетрация 25 °С, 0,1 мм | Растяжимость 25 °С, см |
|--------------------------|----------------------|----------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------|
| 1                        | Россия               | 0,26                                   | 43,6                            | -30                       | 144                      | –                      |
| 2                        | Россия               | 0,27                                   | 52,1                            | -37                       | 195                      | 35                     |
| 3                        | Россия               | 0,28                                   | 43,2                            | -38                       | 197                      | 31                     |
| 1                        | Китай                | 0,28                                   | 44,9                            | -34                       | 125                      | 65                     |
| 2                        | Китай                | 0,29                                   | 50,9                            | -36                       | 233                      | 77                     |
| 3                        | Китай                | 0,30                                   | 52,6                            | -36                       | 221                      | 74                     |

растяжимости полимерно-битумных вяжущих возрастают, а температура его хрупкости понижается. С увеличением содержания бутадиеновых звеньев в сополимере динамическая вязкость, температура размягчения, температура хрупкости, значения пенетрации и растяжимости возрастают, причем для СБС-2 данные значения выше, чем для СБС-1.

Установлено, что предварительное смешение сополимера с пластификатором с последующим добавлением этой смеси в нефтяной дорожный битум повышает все изученные характеристики полимерно-битумных вяжущих. Это указывает на равномерное распределение сополимеров в битуме и на образование более стабильной композиции (табл. 4). Исходя из вышеизложенного можно сделать вывод, что способ подготовки исходной смеси также влияет на физико-механические характеристики полимерно-битумных вяжущих.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, при увеличении процентного содержания сополимера СБС в нефтяном дорожном битуме динамическая вязкость и значение растяжимости полимерно-битумных вяжущих возрастают, а температура его хрупкости понижается. С повышением содержания бутадиеновых звеньев в сополимере СБС динамическая вязкость, температура размягчения, температура хрупкости, значения пенетрации и растяжимости возрастают. Предварительное смешение сополимеров СБС с пластификатором с последующим добавлением смеси в битум способствует равномерному распределению сополимеров и тем самым обеспечивает стабильность полимерно-битумных вяжущих.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Polacco G., Filippi S., Merusi F., Stasta G. A review of the fundamentals of polymer-modified asphalts: asphalt/polymer interactions and principles of compatibility // *Advances in Colloid and Interface Science*. 2015. Vol. 224. P. 72–112. DOI: 10.1016/j.cis.2015.07.010.
2. Брызгалов Н.И., Кемалов А.Ф., Кемалов Р.А. Влияние бутадиен-стирольного термоэластопласта на физико-химические показатели полимер-битумных вяжущих // *Вестник технологического университета*. 2022. Т. 25. N 9. С. 76–84. DOI: 10.55421/1998-7072\_2022\_25\_9\_76. EDN: JCAHEO.
3. Лукин А.С., Житов Р.Г., Баяндин В.В., Шаглаева Н.С. Исследование влияния природы пластификатора на свойства полимер-битумных композиций методом флуоресцентной микроскопии // *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2022. Т. 12. N 3. С. 471–478. DOI: 10.21285/2227-2925-2022-12-3-471-478. EDN: ZMVOML.
4. Chen S., Jin E., Xu G., Zhuo S., Chen X. Factors influencing the low-temperature properties of styrene-butadiene-styrene modified asphalt based on orthogonal tests // *Polymers*. 2023. Vol. 15, no. 1. P. 52. DOI: 10.3390/polym15010052.
5. Jexembayeva A., Konkanov M., Aruova L., Kirgizbayev A., Zhaksylykova L. Modifying bitumen with recycled PET plastics to enhance its water resistance and strength characteristics // *Polymers*. 2024. Vol. 16, no. 23. P. 3300. DOI: 10.3390/polym16233300.
6. Airey G.D. Styrene butadiene styrene polymer modification of road bitumens // *Journal of Materials Science*. 2004. Vol. 39, no. 3. P. 951–959. DOI: 10.1023/B:JMSC.0000012927.00747.83.
7. Zhitov R.G., Kizhnyayev V.N., Shirokov V.V. Copolymerization of styrene with methacrylates in petroleum bitumen and properties of resulting composites // *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. 2019. Vol. 53. P. 860–863. DOI: 10.1134/S0040579518050305.
8. Yu H., Jin Y., Liang X., Dong F. Preparation of waste-LDPE/SBS composite high-viscosity modifier and its effect on the rheological properties and microstructure of asphalt // *Polymers*. 2022. Vol. 14, no. 18. P. 3848. DOI: 10.3390/polym14183848.
9. Liu K., Xu Y., Wang H., Wang L. Experimental and molecular dynamics study on the properties of amorphous poly alpha olefin (APAO)reinforcing styrene butadiene rubber (SBR) modified asphalt // *Construction and Building Materials*. 2024. Vol. 443. P. 137844. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2024.137844.
10. Евдокимова Н.Г., Егорова Н.А., Султанова Д.П., Кунакулова Э.М., Сережкина Н.Г. Формирование золь-гелевой наноструктуры дорожных битумов методом подбора группового химического состава // *Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал*. 2019. Т. 11. N 5. С. 512–525. DOI: https://doi.org/10.15828/2075-8545-2019-11-5-512-525. EDN: KPPGIH.
11. Высоцкая М.А., Кузнецов Д.А., Литовченко Д.П., Барковский Д.В., Ширяев А.О. Пластификатор при производстве полимерно-битумных вяжущих – как необходимость // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2019. N 5. С. 16–22. DOI: 10.34031/article\_5cd6df466bb9e0.32764094. EDN: VRPVEJ.
12. Алексеев А.А., Лобанов А.В., Осипчик В.С., Жуков А.Ф., Алексеев А.А. Пластификация индустриальным

маслом бутадиен-стирольного блок-сополимера с повышенным содержанием стирола // Известия высших учебных заведений. Серия Химия и химическая технология. 2013. Т. 56. N 8. С. 85–89. EDN: QZESWJ.

**13.** Беляев П.С., Полушкин Д.А., Макеев П.В., Фролов В.А. Модификация нефтяных дорожных битумов полимерными материалами для получения асфальтобетонных покрытий с повышенными эксплуатационными характеристиками // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2016. Т. 22. N 2. С. 264–271. DOI: 10.17277/vestnik.2016.02.pp.264-271. EDN: VWDSXH.

**14.** Zhang F., Yu J., Wu S. Effect of ageing on rheological properties of storage-stable SBS/sulfur-modified asphalts // Journal of Hazardous Materials. 2010. Vol. 182, no. 1-3. P. 507–517. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2010.06.061.

**15.** Bansal S., Gupta V., Chopra T., Mehta R. Styrene-Butadiene-Styrene polymer modified bitumen: a review on compatibility and physico-chemical properties // Physica Scripta. 2024. Vol. 99. P. 122001. DOI: 10.1088/1402-4896/ad9113.

**16.** Liu K., Liu Y., Wang X., Dong L., Wang P. Evolution in thermal storage stability of SBS-polymer modified asphalt induced by differences in microscopic characteristics of base asphalt // Journal of Adhesion Science and Technology. 2024. P. 1–26. DOI: 10.1080/01694243.2024.2430655.

**17.** Гохман Л.М. Выбор полимера и приготовление ПБВ // Автомобильные дороги. 2016. N 2. С. 55–61.

**18.** Dong F., Zhao W., Zhang Y., We J., Fan W., Yu Y., et al. Influence of SBS and asphalt on SBS dispersion and

the performance of modied asphalt // Construction and Building Materials. 2014. Vol. 62. P. 1–7. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2014.03.018.

**19.** Chen M., Geng J., Xia C., He L., Liu Z. A review of phase structure of SBS modified asphalt: Affecting factors, analytical methods, phase models and improvements // Construction and Building Materials. 2021. Vol. 294. P. 123610. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.123610.

**20.** Zhou S., Wang J., Li S., Yan C. Investigating the rheological behaviour of styrene-butadiene-styrene modified asphalt // Road Materials and Pavement Design. 2023. Vol. 25, no. 9. P. 1964–1979. DOI: 10.1080/14680629.2023.2287715.

**21.** Li L., Huang C., Zeng Xu., Yang H., Gao W., Chen Y., et al. Rheological performance and UV aging resistance of buton rock asphalt and styrene-butadiene-styrene composite modified asphalt under high temperature // Coatings. 2024. Vol. 14, no. 12. P. 1589. DOI: 10.3390/coatings14121589.

**22.** Dong F., Zhao W., Zhang Y., Fan W., Wei J., Luo H., et al. High-temperature performance and microstructure of composite modified hard asphalt // Petroleum Science and Technology. 2018. Vol. 36, no. 7. P. 481–486. DOI: 10.1080/10916466.2014.919006.

**23.** Баданов С.В., Урумов А.В., Баяндин В.В., Шаглаева Н.С. Реакционная способность 2,3-дихлорпропена в реакциях радикальной сополимеризации // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2021. Т. 11. N 4. С. 517–522. DOI: 10.21285/2227-2925-2021-11-4-517-522. EDN: GHSPJJ.

## REFERENCES

**1.** Polacco G., Filippi S., Merusi F., Stasta G. A review of the fundamentals of polymer-modified asphalts: asphalt/polymer interactions and principles of compatibility. *Advances in Colloid and Interface Science*. 2015;224:72-112. DOI: 10.1016/j.cis.2015.07.010.

**2.** Bryzgalov N.I., Kemalov A.F., Kemalov R.A. Influence of butadiene styrene thermoplastic elastomer on physico-chemical parameters of polymer-bitumen binders. *Herald of Technological University*. 2022;25(9):76-84. (In Russian). DOI: 10.55421/1998-7072\_2022\_25\_9\_76. EDN: JCAHEO.

**3.** Lukin A.S., Zhitov R.G., Bayandin V.V., Shaglaeva N.S. Study into the effect of plasticizer nature on the properties of polymer-bitumen compositions via fluorescence microscopy. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2022;12(3):471-478. (In Russian). DOI: 10.21285/2227-2925-2022-12-3-471-478. EDN: ZMVOML.

**4.** Chen S., Jin E., Xu G., Zhuo S., Chen X. Factors influencing the low-temperature properties of styrene-butadiene-styrene modified asphalt based on orthogonal tests. *Polymers*. 2023;15(1):52. DOI: 10.3390/polym15010052.

**5.** Jexembayeva A., Konkanov M., Aruova L., Kirgizbayev A., Zhaksylykova L. Modifying bitumen with recycled PET plastics to enhance its water resistance and strength characteristics. *Polymers*. 2024;16(23):3300. DOI: 10.3390/polym16233300.

**6.** Airey G.D. Styrene butadiene styrene polymer modification of road bitumens. *Journal of Materials Science*. 2004;39(3):951-959. DOI: 10.1023/B:JMSC.0000012927.00747.83.

**7.** Zhitov R.G., Kizhnyaev V.N., Shirokov V.V. Copolymerization of styrene with methacrylates in petroleum bitumen and properties of resulting composites. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. 2019;53:860-863. DOI: 10.1134/S0040579518050305.

**8.** Yu H., Jin Y., Liang X., Dong F. Preparation of waste-LDPE/SBS composite high-viscosity modifier and its effect on the rheological properties and microstructure of asphalt. *Polymers*. 2022;14(18):3848. DOI: 10.3390/polym14183848.

**9.** Liu K., Xu Y., Wang H., Wang L. Experimental and molecular dynamics study on the properties of amorphous poly alpha olefin (APAO)reinforcing styrene butadiene rubber (SBR) modified asphalt. *Construction and Building Materials*. 2024;443:137844. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2024.137844.

**10.** Evdokimova N.G., Egorova N.A., Sultanova D.P., Kunakkulova E.M., Serezhkina N.G. The formation of the sol-gel nanostructures of road bitumen by selecting chemical group composition. *Nanotechnologies in Construction: a Scientific Internet-Journal*. 2019;11(5):512-525. (In Russian). DOI: https://doi.org/10.15828/2075-8545-2019-11-5-512-525. EDN: KPPGIH.

**11.** Vysotskaya M., Kuznecov D., Litovchenko D., Barkovskiy D., Shiryaev A. The need for a plasticizer in the production of polymeric-bitumen binders. *Bulletin of Belgorod State Technological University Named after V.G. Shukhov*. 2019;5:16-22. (In Russian). DOI: 10.34031/article\_5cd6df466bb9e0.32764094. EDN: VRPVEJ.

**12.** Alekseev A.A., Lobanov A.V., Osipchik V.S., Zhukov A.F., Alekseev A.A. Butadiene-styrene block copolymer plasticization with industrial oil of increased styrene content. *Chem-ChemTech*. 2013;56(8):85-89. (In Russian). EDN: QZESWJ.

**13.** Belyaev P.S., Polushkin D.L., Makeev P.V., Frolov V.A. Petroleum bitumen modified by polymer materials for asphalt concrete surfacing with improved operational performance. *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2016;22(2):264-271. (In Russian). DOI: 10.17277/vestnik.2016.02.pp.264-271. EDN: VWDSXH.

**14.** Zhang F., Yu J., Wu S. Effect of ageing on rheological

properties of storage-stable SBS/sulfur-modified asphalts. *Journal of Hazardous Materials*. 2010;182(1-3):507-517. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2010.06.061.

**15.** Bansal S., Gupta V., Chopra T., Mehta R. Styrene-Butadiene-Styrene polymer modified bitumen: a review on compatibility and physico-chemical properties. *Physica Scripta*. 2024;99:122001. DOI: 10.1088/1402-4896/ad9113.

**16.** Liu K., Liu Y., Wang X., Dong L., Wang P. Evolution in thermal storage stability of SBS-polymer modified asphalt induced by differences in microscopic characteristics of base asphalt. *Journal of Adhesion Science and Technology*. 2024;1-26. DOI: 10.1080/01694243.2024.2430655.

**17.** Gokhman L.M. Selection of polymer and preparation of polymer-bitumen binder. *Avtomobil'nye dorogi*. 2016;2:55-61.

**18.** Dong F., Zhao W., Zhang Y., We J., Fan W., Yu Y., et al. Influence of SBS and asphalt on SBS dispersion and the performance of modified asphalt. *Construction and Building Materials*. 2014;62:1-7. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2014.03.018.

**19.** Chen M., Geng J., Xia C., He L., Liu Z. A review of phase structure of SBS modified asphalt: Affecting factors, analytical methods, phase models and improvements.

*Construction and Building Materials*. 2021;294:123610. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.123610.

**20.** Zhou S., Wang J., Li S., Yan C. Investigating the rheological behaviour of styrene-butadiene-styrene modified asphalt. *Road Materials and Pavement Design*. 2023;25(9):1964-1979. DOI: 10.1080/14680629.2023.2287715.

**21.** Li L., Huang C., Zeng Xu., Yang H., Gao W., Chen Y., et al. Rheological performance and UV aging resistance of buton rock asphalt and styrene-butadiene-styrene composite modified asphalt under high temperature. *Coatings*. 2024;14(12):1589. DOI: 10.3390/coatings14121589.

**22.** Dong F., Zhao W., Zhang Y., Fan W., Wei J., Luo H., et al. High-temperature performance and microstructure of composite modified hard asphalt. *Petroleum Science and Technology*. 2018;36(7):481-486. DOI: 10.1080/10916466.2014.919006.

**23.** Badanov S.V., Urumov A.V., Bayandin V.V., Shaglaeva N.S. Reactivity of 2,3-dichloropropene in free-radical copolymerization reactions. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2021;11(4):517-522. (In Russian). DOI: 10.21285/2227-2925-2021-11-4-517-522. EDN: GHSPJJ.

#### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ**

**Кривошеин Андрей Александрович**,  
аспирант,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,  
Российская Федерация,  
✉ andrey.krivoshein.97@mail.ru  
<https://orcid.org/0009-0009-5257-4093>

**Шаглаева Нина Савельевна**,  
д.х.н., профессор, профессор,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,  
Российская Федерация,  
ShaglaevaNS@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-7889-0574>

#### **Вклад авторов**

А.А. Кривошеин – проведение исследования.  
Н.С. Шаглаева – курирование данных.

#### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили  
окончательный вариант рукописи.

#### **Информация о статье**

Поступила в редакцию 14.01.2025.  
Одобрена после рецензирования 01.04.2025.  
Принята к публикации 31.05.2025.

#### **INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

**Andrey A. Krivoshein**,  
Postgraduate Student,  
Irkutsk National Research Technical University,  
83, Lermontov St., Irkutsk, 664074,  
Russian Federation,  
✉ andrey.krivoshein.97@mail.ru  
<https://orcid.org/0009-0009-5257-4093>

**Nina S. Shaglaeva**,  
Dr. Sci. (Chemistry), Professor, Professor,  
Irkutsk National Research Technical University,  
83, Lermontov St., Irkutsk, 664074,  
Russian Federation,  
ShaglaevaNS@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-7889-0574>

#### **Contribution of the authors**

Andrey A. Krivoshein – investigation.  
Nina S. Shaglaeva – data curation.

#### **Conflict of interest**

The authors declare no conflict of interests  
regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved  
by all the co-authors.

#### **Information about the article**

The article was submitted 14.01.2025.  
Approved after reviewing 01.04.2025.  
Accepted for publication 31.05.2025.