

Научная статья

УДК 541.64

DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2022-12-3-471-478>



Исследование влияния природы пластификатора на свойства полимер-битумных композиций методом флуоресцентной микроскопии

Андрей Сергеевич Лукин*, Роман Георгиевич Житов**,
Виктор Владимирович Баяндин*, Нина Савельевна Шаглаева*

*Иркутский национальный исследовательский технический университет,

г. Иркутск, Российская Федерация

**ООО «Байкальский битумный терминал»,

г. Ангарск, Российская Федерация

Автор, ответственный за переписку: Шаглаева Нина Савельевна, shaglaevans@yandex.ru

Аннотация. Данная работа посвящена исследованию влияния природы пластификатора на свойства полимер-битумных композиций методом флуоресцентной микроскопии. На сегодняшний день 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, пластификаторов и поверхностно-активных веществ значительно повышает эксплуатационные свойства покрытия. Наилучшие результаты получены при использовании блоксополимера стирола и бутадиена, индустриального масла и катионного поверхностно-активного вещества на основе полиаминоамидов и полиаминоимидазолинов. Выбор в качестве пластификатора индустриального масла обусловлен хорошей совместимостью с битумом и полимером, а также высокой температурой вспышки – 200 °С. Содержание парафино-нафтеновых углеводородов в индустриальном масле больше 70%. Несмотря на большой объем производства индустриального масла, наблюдается острый дефицит этого продукта нефтехимии из-за широкого применения, поэтому интенсивно ведутся исследования по замене индустриального масла в составе сополимера полимерно-битумно вяжущего. В данной работе предложено использование в качестве пластификаторов при создании полимерно-битумного вяжущего тяжелого газойля, полученного при каталитическом крекинге и замедленном коксовании, тяжелой смолы пиролиза, экстракта селективной очистки масел, таллового масла. В этой связи исследовано влияние предложенных пластификаторов на коллоидную структуру полимерно-битумного вяжущего методом флуоресцентной микроскопии. Исходные полимерно-битумные вяжущие получены на предприятии АО «АНХК» (г. Ангарск) по ГОСТ Р 52056-2003 «Вяжущие полимерно-битумные дорожные на основе блоксополимеров типа стирол–бутадиен–стирол». Определен групповой состав исследуемых пластификаторов. Доказано, что для получения устойчивого к расслоению полимерно-битумного вяжущего требуются пластификаторы с содержанием ароматических соединений больше 60%.

Ключевые слова: полимерно-битумные вяжущие, флуоресцентная микроскопия, пластификатор, нефтяной дорожный битум, сополимер стирол–бутадиен–стирол

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 19-08-00342/19).

Для цитирования: 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. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2022-12-3-471-478>.

Original article

Study into the effect of plasticizer nature on the properties of polymer-bitumen compositions via fluorescence microscopy

Andrey S. Lukin*, Roman G. Zhitov**, Victor V. Bayandin*, Nina S. Shaglaeva*

*Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation

**LLC "Baikal bitumen terminal", Angarsk, Russian Federation

Corresponding author: Nina S. Shaglaeva, shaglaevans@yandex.ru

Abstract. The paper studies how the nature of the plasticizer affects the properties of polymer-bitumen compositions using the fluorescence microscopy. The current petroleum road bitumen used for the construction of road, bridge, and airfield pavements does not meet the requirements for cracking/heat resistance, elasticity, and adhesion to the mineral material surface. Pavement performance characteristics can be significantly improved by introducing thermoplastic elastomers, plasticizers, and surfactants into the composition of petroleum road bitumen. The best results were obtained when using a block copolymer of styrene and butadiene, industrial oil, and cationic surfactant on the basis of polyaminoamides and polyaminoimidazolines. The choice of industrial oil as a plasticizer is attributed to its good compatibility with bitumen and polymer, as well as its high flash point (200 °C). The content of paraffin-naphthenic hydrocarbons in industrial oil is over 70%. Although industrial oil is produced in large quantities, an acute shortage of this petrochemical product is observed due to its wide application; thus, intensive studies are underway to replace industrial oil in the composition of the polymer-bitumen binder. It is proposed to use heavy gas oil produced via catalytic cracking and delayed coking, heavy pyrolysis tar, solvent-extracted oil, and tall oil as plasticizers in the creation of the polymer-bitumen binder. In this connection, the effect of proposed plasticizers on the colloidal structure of the polymer-bitumen binder was studied using the method of fluorescence microscopy. Initial polymer-bitumen binders were produced at ANHK (Angarsk) according to GOST R 52056-2003 Polymer-Bitumen Road Binders Based on Styrene-Butadiene-Styrene-Type Block Polymers. The group composition of the plasticizers under study was determined. It was shown that in order to obtain a polymer-bitumen binder resistant to stratification, plasticizers having a content of aromatic compounds of over 60% are required.

Keywords: polymer-bitumen binders, fluorescence microscopy, plasticizer, petroleum bitumen, styrene-butadiene-styrene copolymer

Funding. This work was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (project 19-08-00342/19).

For citation: 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. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2022;12(3):471-478. (In Russian). <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2022-12-3-471-478>.

ВВЕДЕНИЕ

Эффективное развитие дорожной сети является стратегическим приоритетом для России, поэтому строительство дорожных, мостовых и аэродромных покрытий с высокими эксплуатационными характеристиками представляет собой актуальную проблему. Установлено, что применение в качестве связующих окисленных нефтяных битумов при производстве асфальтобетонов не обеспечивает необходимые требования к трещиностойкости, теплостойкости, эластичности, адгезии к поверхности минеральных материалов кислых пород и др. [1]. Повышение качества покрытий удастся достичь при использовании полимерно-битумных вяжущих (ПБВ), которые состоят из нефтяного дорожного битума (БНД), сополимера, пластификатора и поверхностно-активного

вещества (ПАВ). Полимерная матрица повышает температуру размягчения и вязкость ПБВ и придает продукту эластичные свойства. Наилучшие результаты получены при использовании блоксополимера на основе стирола и бутадиена (СБС) [2, 3]. ПАВ обеспечивают требуемую адгезию к минеральным материалам кислых пород. Пластифицирующие добавки должны понижать температуру хрупкости и не оказывать влияние на температуру размягчения ПБВ. В качестве пластификатора традиционно выбирают индустриальное масло, т. к. температура его вспышки выше 200 °С, кроме того, при 140–150 °С оно хорошо совмещается не только с битумом, но и с сополимером. Количество вводимого индустриального масла в ПБВ составляет от 5 до 20% [1–4]. Несмотря на большой объем его производства, наблюдается

острый дефицит этого продукта нефтехимии из-за широкого применения в качестве смазочных материалов в узлах трения трущихся деталей станков, прокатных и волочильных станов, прессов, гидросистем и другого подобного оборудования, поэтому интенсивно ведутся исследования по замене индустриального масла в составе ПБВ [5–9].

Целью данной работы является изучение методом флуоресцентной микроскопии структуры ПБВ на основе БНД 100/130, сополимера СБС марки SBS СН 1301-1Н и пластификатора различной структуры.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве пластифицирующих добавок были использованы промышленные продукты нефтехимической промышленности без дополнительной очистки: масло индустриальное И-40 в качестве эталона, тяжелый газойль, полученный при каталитическом крекинге (ТГКК) и замедленном коксовании (ТГЗК), тяжелая смола пиролиза (ТСП), экстракт селективной очистки масел (ЭСОМ), талловое масло сырое (ТМС). Полимерная матрица представляла собой сополимер марки SBS СН 1301-1Н, который относится к типу СБС-каучуков.

Групповой анализ выбранных пластифицирующих добавок (табл. 1) осуществляли методом тонкослойной хроматографии.

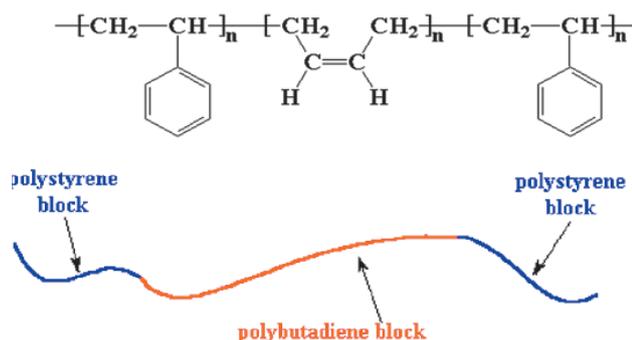
Плотность пластифицирующих добавок определяли с помощью пикнометра и ареометра, а значение условной вязкости – вискозиметрически по стандартной методике.

Изучение структуры ПБВ проводили на приборе Levenhuk MED PrO 600 Fluo (Levenhuk Inc., США).

Получение модифицированного ПБВ. К БНД добавляли рассчитанное количество сополимера СБС, пластифицирующей добавки (ПД) и при температуре 175 °С перемешивали в течение 6 ч, затем выдерживали 2 ч при комнатной температуре. Полученную смесь охлаждали в термостате до минус 40 °С и замороженное ПБВ раскалывали при помощи ножа, с образовавшейся свежесколотой поверхности откалывали небольшие фрагменты плоской формы и исследовали методом флуоресцентной микроскопии.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Сополимер СБС относится к блоксополимеру и состоит из блоков стирола, разделенных блоками бутадиена:



Блоки, состоящие из полистирола и полибутадиена, цепляясь «хвостами» один к другому, образуют структуру, напоминающую сетку, которая обладает разными физическими свойствами. Полибутадиен сохраняет эластичность до минус 60 °С, а полистирольные части остаются жесткими вплоть до температуры стеклования полистирола (~100 °С). При этом каждая часть сополимера отвечает за эластичность в разном диапазоне температур, поэтому сополимер СБС обладает эластичными свойствами в широком температурном диапазоне. Образование таких структур в битуме при растворении в нем блоксополимера приводит к увеличению теплостойкости ПБВ в сравнении с исходным битумом¹ [10–12].

Из анализа литературных данных [13–19] можно заключить, что наиболее эффективными пластификаторами являются соединения с высоким содержанием смол и ароматических соединений, т. к. эти фракции способствуют растворению сополимера СБС в ПБВ и образованию однородной и устойчивой смеси. Результаты группового анализа, значения плотности и условной вязкости пластифицирующих добавок приведены в табл. 1. В исходном БНД количество ароматических соединений составляет 37%, а содержание смол равно 28%. Значения плотности исходного БНД и пластифицирующих добавок практически не отличаются и находятся в пределах 0,869–1,063 кг/м³. Величина условной вязкости БНД равна 253,6. Падение этой величины наблюдается от 15,4 до 2,7 в ряду ТМС→ЭСОМ→И-40→ТСП→ТГЗК→ТГКК. Количество смол варьируется в пределах от 76 до 4% и понижается в ряду ТМС→ТСП→И-40→ТГКК→ЭСОМ→ТГЗК. Следовательно, изменение условной вязкости пластифицирующих добавок не зависит от содержания смол в образцах.

Содержание ароматических соединений в пластификаторах уменьшается в ряду ТГКК→И-40→ТГЗК→ЭСОМ→ТСП→ТМС от 66 до 12%. Количество парафинов и нафтенных в пластификаторах понижается от 35 до 5%: ТГЗК→ЭСОМ→ТГКК→И-40→ТСП→ТМС. Нерастворимые фракции (в петролейном эфире) присутствуют в ТМС и ТСП и составляют 7 и 6% соответственно.

Предварительными экспериментами найдены оптимальные соотношения БНД (100/130), сополимера СБС (3%), ПАВ (0,2%) и пластификатора (12%). Проведено изучение полученных ПБВ методом флуоресцентной микроскопии в отсутствие пластифицирующих добавок и установлено, что в данной системе наблюдается расслоение БНД и сополимера (эксперимент 1, табл. 2).

Добавление эталонного пластификатора И-40 (эксперимент 2, см. табл. 2) благоприятно влияет на распределение сополимера, отдельные частицы, распределенные по всей системе, свидетельствуют о хорошем сопротивлении к расслоению. Смеси, приготовленные с ТГЗК (эксперимент 3, см. табл. 2) и ТСП (эксперимент 4, см. табл. 2), имеют равномерное распределение по всей системе при разном групповом составе, но очень близкое на-

хождение частиц, что говорит о возможном образовании больших частиц, которое должно привести к расслоению. Смеси, приготовленные с ТГКК (эксперимент 5, см. табл. 2) и ЭСОМ (эксперимент 6, см. табл. 2), имеют равномерное распределение по всей системе. Их влияние очень схоже с эталонным пластификатором И-40, что говорит о возможной замене И-40 на ЭСОМ или на ТГКК при получении ПБВ. ТМС в отличие от ТСП содержит большое количество смол, что приводит к плохому распределению полимера (эксперимент 7, см. табл. 2).

Таким образом, высокое содержание смол в ТГКК препятствует равномерному распределению

сополимера в ПБВ (эксперимент 5, см. табл. 2). Композиции, приготовленные с ТГЗК и ТСП, имеют равномерное распределение по всей системе, но следует учитывать очень близкое нахождение компонентов СБС, поэтому нельзя исключить агломеризацию частиц сополимера и, как следствие, расслоение ПБВ. Добавление пластифицирующих добавок И-40, ТГКК и ЭСОМ (эксперименты 2–4, см. табл. 2) в ПБВ приводит к равномерному распределению сополимера в БНД. Это означает, что пластифицирующие добавки ТГКК и ЭСОМ могут заменить индустриальное масло (эксперименты 3, 4, см. табл. 2).

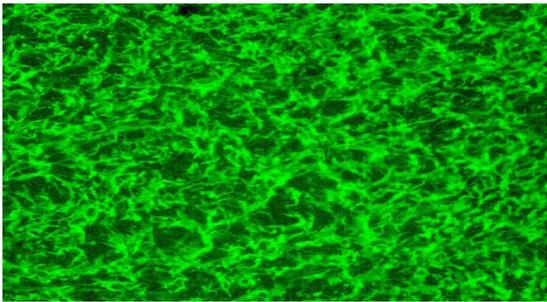
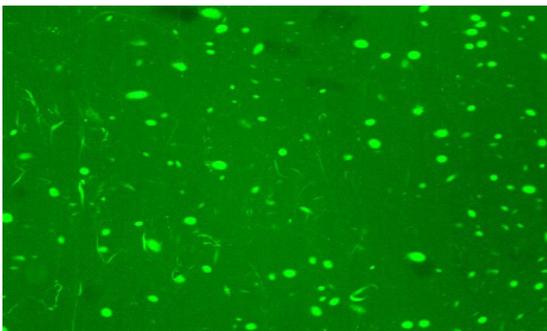
Таблица 1. Групповой анализ пластифицирующих добавок

Table 1. Group analysis of plasticizing additives

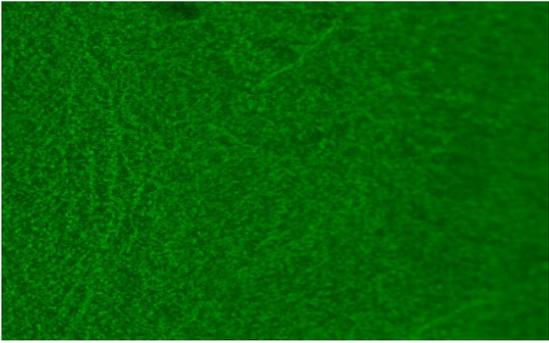
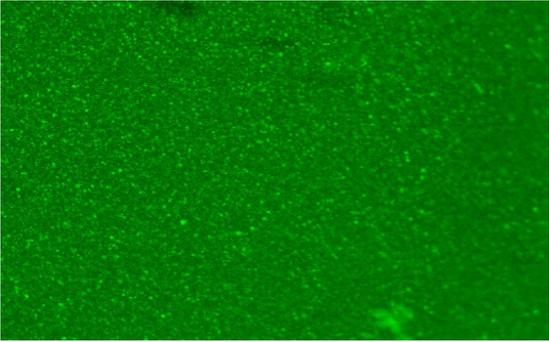
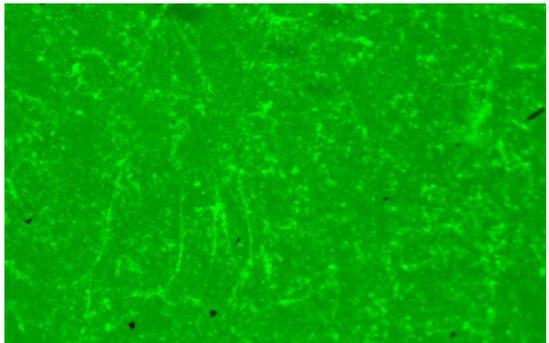
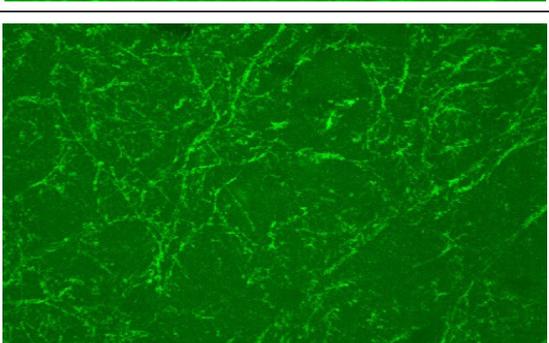
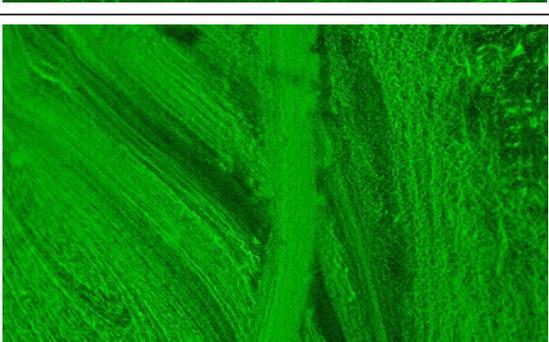
Продукт	Содержание ароматических соединений, %	Содержание парафинов и нафтенов, %	Содержание смол, %	Содержание фракций, нерастворимых в петролейном эфире, %	Плотность, г/см ³	Условная вязкость при 100 °С
БНД	37	12	28	23	0,984	253,6
И-40	64	16	20	0	0,869	10,2
ТГКК	66	27	7	0	0,971	2,7
ТГЗК	61	35	4	0	0,942	3,4
ТСП	55	15	24	6	1,063	4,5
ЭСОМ	60	34	6	0	0,926	11,2
ТМС	12	5	76	7	0,994	15,4

Таблица 2. Результаты метода флуоресцентной микроскопии

Table 2. Results of the fluorescence microscopy method

Номер эксперимента	Состав смеси	Флуоресцентные микрофотографии
1	БНД (100/130), ПАВ (0,2%), сополимер СБС (3%)	
2	БНД (100/130), ПАВ (0,2%), сополимер СБС (3%), пластификатор И-40 (12%)	

¹ Житов Р. Г. Получение и свойства полимер-битумных композитов: дис. ... канд. хим. наук. Иркутск, 2013. 121 с.

3	БНД (100/130), ПАВ (0,2%), сополимер СБС (3%), пластификатор ТГЗК (12%)	
4	БНД (100/130), ПАВ (0,2%), сополимер СБС (3%), пластификатор ТСП (12%)	
5	БНД (100/130), ПАВ (0,2%), сополимер СБС (3%), пластификатор ТГКК (12%)	
6	БНД (100/130), ПАВ (0,2%), сополимер СБС (3%), пластификатор ЭСОМ (12%)	
7	БНД (100/130), ПАВ (0,2%), сополимер СБС (3%), пластификатор ТМС (12%)	

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Пластификаторы, содержащие смолы и нефтенные фракции, препятствуют равномерному распределению сополимера в композиции. Пластифицирующие добавки ТГКК и ЭСОМ, которые содержат ароматические соединения от 66 до 60%, способствуют равномерному распределению сополимера в БНД. Результаты метода флуоресцентной микро-

скопии при применении ТГКК и ЭСОМ сопоставимы с таковыми при использовании индустриального масла (И-40), и, следовательно, эти пластифицирующие добавки могут заменить индустриальное масло в составе ПБВ. Основной характеристикой исследованных пластифицирующих добавок для получения устойчивого ПБВ является содержание ароматических соединений больше 60%.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гохман Л. М. Полимерно-битумные вяжущие материалы на основе СБС для дорожного строительства. М.: Информавтдор, 2002. 110 с.
2. Airey G. D. Fundamental binder and practical mixture evaluation of polymer modified bituminous materials // *International Journal of Pavement Engineering*. 2004. Vol. 5, no. 3. P. 137–151. <https://doi.org/10.1080/10298430412331314146>.
3. Polacco G. A review of the fundamentals of polymer-modified asphalts: asphalt/polymer interactions and principles of compatibility advances in colloid and interface science // *Advances in Colloid and Interface Science*. 2015. Vol. 224. P. 72–112. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2015.07.010>.
4. Gogoi R., Biligiri K. P., Das N. C. Performance prediction analyses of styrenebutadiene rubber and crumb rubber materials in asphalt road applications // *Materials and Structures*. 2016. Vol. 49, no. 9. P. 3479–3493. <https://doi.org/10.1617/s11527-015-0733-0>.
5. Karger-Kocsis J., Meszaros L., Barany T. Ground tyre rubber (GTR) in thermoplastics, thermosets, and rubbers // *Journal of Materials Science*. 2013. Vol. 48, no. 1. P. 1–38. <https://doi.org/10.1007/s10853-012-6564-2>.
6. Alonso S., Medina-Torres L., Zitzumbo R., Avalos F. Rheology of asphalt and styrene-butadiene blends // *Journal of Materials Science*. 2010. Vol. 45, no. 10. P. 2591–2597. <https://doi.org/10.1007/s10853-010-4230-0>.
7. Diab A. Studying viscosity of asphalt binders and effect of varied production temperatures on engineering properties of hot mix asphalt mixtures // *Canadian Journal of Civil Engineering*. 2016. Vol. 44, no. 1. P. 1–9. <https://doi.org/10.1139/cjce-2016-0383>.
8. 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. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.06.061>.
9. Airey G. D. Rheological properties of styrene butadiene styrene polymer modified road bitumens // *Fuel*. 2003. Vol. 82, no. 14. P. 1709–1719. [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(03\)00146-7](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(03)00146-7).
10. Гохман Л. М., Гавриленко О. В. Влияние эластичности вяжущих на усталостную прочность полимерасфальтобетона // *Наука и техника в дорожной отрасли*. 2011. Т. 59. N4. С. 21–25.
11. Тюкилина П. М., Гуреев А. А. Закономерности влияния состава пластификатора на эластичность и когезионную прочность полимерно-битумных вяжущих // *Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт*. 2018. N2. С. 12–16.
12. Гохман Л. М. Выбор полимера и приготовление ПБВ // *Автомобильные дороги*. 2016. N2. С. 55–61.
13. Петров К. Р., Дауров З. С., Тихонов Р. С. Проблемы и способы устройства дорожных покрытий на слабых основаниях // *Форум молодых ученых*. 2017. Т. 16. N12. С. 1448–1452.
14. Беляев П. С., Полушкин Д. Л., 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. N2. С. 264–271. <https://doi.org/10.17277/vestnik.2016.02.pp.264-271>.
15. Plewa A., Belyaev P. S., Andrianov K. A., Zubkov A. F., Frolov V. A. The effect of modifying additives on the consistency and properties of bitumen binders // *Advanced Materials & Technologies*. 2016. No. 4. P. 35–40. <https://doi.org/10.17277/amt.2016.04.pp.035-040>.
16. Polacco G., Stastna J., Biondi D., Antonelli F., Vlachovicova Z., Zanzotto L. Rheology of asphalts modified with glycidylmethacrylate functionalized polymers // *Journal of Colloid and Interface Science*. 2004. Vol. 280, no. 2. P. 366–373. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2004.08.043>.
17. Abdullah M. E., Zamhari K. A., Shamshudin M. K., Mohd Rosli H., Idham M. K. Rheological properties of asphalt binder modified with chemical warm asphalt additive // *Advanced Materials Research*. 2013. Vol. 671. P. 1692–1699. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.671-674.1692>.
18. Евдокимова Н. Г., Егорова Н. А., Султанова Д. П., Куннакулова Э. М., Сержкина Н. Г. Формирование золь-гелевой наноструктуры дорожных битумов методом подбора группового химического состава // *Нанотехнологии в строительстве*. 2019. Т. 11. N5. С. 512–525. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2019-11-5-512-525>.
19. 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. N5. С. 16–22. https://doi.org/10.34031/article_5cd6df466bb9e0.32764094.

REFERENCES

1. Gokhman L. M. *Polymer-bitumen binders based on SBS for road construction*. Moscow: Informavtodor; 2002. 110 p. (In Russian).
2. Airey G. D. Fundamental binder and practical mixture evaluation of polymer modified bituminous materials. *International Journal of Pavement Engineering*. 2004;5(3):137–151. <https://doi.org/10.1080/10298430412331314146>.
3. Polacco G. A review of the fundamentals of polymer-modified asphalts: asphalt/polymer interactions and principles of compatibility advances in colloid and interface science. *Advances in Colloid and Interface Science*. 2015;224:72–112. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2015.07.010>.
4. Gogoi R., Biligiri K. P., Das N. C. Performance prediction analyses of styrenebutadiene rubber and crumb rubber materials in asphalt road applications. *Materials and Structures*. 2016;49(9):3479–3493. <https://doi.org/10.1617/s11527-015-0733-0>.
5. Karger-Kocsis J., Meszaros L., Barany T. Ground tyre rubber (GTR) in thermoplastics, thermosets, and rubbers. *Journal of Materials Science*. 2013;48(1):1–38. <https://doi.org/10.1007/s10853-012-6564-2>.
6. Alonso S., Medina-Torres L., Zitzumbo R., Avalos F. Rheology of asphalt and styrene-butadiene blends. *Journal of Materials Science*. 2010;45(10):2591–2597. <https://doi.org/10.1007/s10853-010-4230-0>.
7. Diab A. Studying viscosity of asphalt binders and effect of varied production temperatures on engineering properties of hot mix asphalt mixtures. *Canadian Journal of Civil Engineering*. 2016;44(1):1–9. <https://doi.org/10.1139/cjce-2016-0383>.
8. 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. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.06.061>.
9. Airey G. D. Rheological properties of styrene butadiene styrene polymer modified road bitumens. *Fuel*. 2003;82(14):1709–1719. [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(03\)00146-7](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(03)00146-7).
10. Gokhman L. M., Gavrilenko O. V. Influence of binding agent elasticity on fatigue resistance of polymer-asphalt concrete. *Nauka i tekhnika v dorozhnoi otrasli = Science and Engineering for Highways*. 2011;59(4):21–25. (In Russian).
11. Tyukilina P. M., Gureev A. A. Regularities of influence of plasticizer composition on elasticity and cohesion strength of polymer-bitumen binders. *Neft-epenerabotka i neftekhimiya. Nauchno-tekhnicheskie dostizheniya i peredovoi opyt*. 2018;(2):12–16. (In Russian).
12. Gokhman L. M. Polymer selection and PMB preparation. *Avtomobil'nye dorogi*. 2016;(2):55–61.
13. Petrov K. R., Daurov Z. S., Tikhonov R. S. Problems and methods of road coverings construction on weak bases. *Forum molodykh uchenykh*. 2017;16(12):1448–1452. (In Russian).
14. 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 = Transaction of the Tambov State Technical University*. 2016;22(2):264–271. (In Russian). <https://doi.org/10.17277/vestnik.2016.02.pp.264-271>.
15. Plewa A., Belyaev P. S., Andrianov K. A., Zubkov A. F., Frolov V. A. The effect of modifying additives on the consistency and properties of bitumen binders. *Advanced Materials & Technologies*. 2016;(4):35–40. <https://doi.org/10.17277/amt.2016.04.pp.035-040>.
16. Polacco G., Stastna J., Biondi D., Antonelli F., Vlachovicova Z., Zanzotto L. Rheology of asphalts modified with glycidylmethacrylate functionalized polymers. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2004;280(2):366–373. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2004.08.043>.
17. Abdullah M. E., Zamhari K. A., Shamshudin M. K., Mohd Rosli H., Idham M. K. Rheological properties of asphalt binder modified with chemical warm asphalt additive. *Advanced Materials Research*. 2013;671:1692–1699. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.671-674.1692>.
18. Evdokimova N. G., Egorova N. A., Sultanova D. P., Kunakulova E. M., Serezhkina N. G. The formation of the sol-gel nanostructures of road bitumen by selecting chemical group composition. *Nanotekhnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction*. 2019;11(5):512–525. (In Russian). <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2019-11-5-512-525>.
19. Vysotskaya M. A., Kuznecov D. A., Litovchenko D. P., Barkovskiy D. V., Shiryaev A. O. The need for a plasticizer in the production of polymeric-bitumen binders. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V. G. Shukhova = Bulletin of Belgorod State Technological University Named After V. G. Shukhov*. 2019;(5):16–22. (In Russian). https://doi.org/10.34031/article_5cd6df466bb9e0.32764094.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

А. С. Лукин,
аспирант,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Российская Федерация,
lukin3095@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3679-4941>

Р. Г. Житов,
к.х.н., технический директор,
ООО «Байкальский битумный терминал»,
665806, г. Ангарск, 37-й квартал,
1-й промышленный массив, стр. 35,
zhitov@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6218-5619>

В. В. Баяндин,
к.т.н., доцент,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Российская Федерация,
bayandinvv@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0999-6313>

Н. С. Шаглаева,
д.х.н., 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

Все авторы сделали эквивалентный вклад
в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

*Все авторы прочитали и одобрили
окончательный вариант рукописи.*

Информация о статье

*Поступила в редакцию 06.10.2021.
Одобрена после рецензирования 15.02.2022.
Принята к публикации 15.09.2022.*

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Andrey S. Lukin,
Postgraduate Student,
Irkutsk National Research Technical University,
83, Lermontov St., Irkutsk, 664074,
Russian Federation,
lukin3095@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3679-4941>

Roman G. Zhitov,
Cand. Sci. (Chemistry),
LLC "Baikal bitumen terminal",
35, First industrial area, 37th quarter, Angarsk,
665806, Russian Federation,
zhitov@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6218-5619>

Victor V. Bayandin,
Cand. Sci. (Chemistry), Associate Professor,
Irkutsk National Research Technical University,
83, Lermontov St., Irkutsk, 664074,
Russian Federation,
bayandinvv@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0999-6313>

Nina S. Shaglaeva,
Dr. Sci. (Chemistry), 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

The authors contributed equally to this article.

Conflict interests

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 06.10.2021.
Approved after reviewing 15.02.2022.
Accepted for publication 15.09.2022.*