

УДК: 665.775.4, 625.7/8
DOI: 10.48612/NewsKSUAE/67.2
EDN: AGMZLQ



Модификация окисленного битума термопластичными эластомерами различной топологии

М.М. Высоцкий¹, А.С. Рыбина¹, В.В. Савицкий¹, Д.Ю. Небрatenко¹

¹Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. *Постановка задачи.* Модифицированные битумы достаточно широко используются в дорожном строительстве. Обеспечение стабильной клеящей способности вяжущих к минеральным материалам различной природы является причиной использования в составе вяжущих эластомеров и термоэластопластов различного состава и строения. Таким образом возможно выполнение основных требований к качеству битумных вяжущих: стабильность высокого уровня технологических и эксплуатационных свойств. Цель исследования – сравнительная оценка влияния на свойства битумов окисленных нефтяных дорожных вязких синтетических термоэластопластов различного химического строения.

Для достижения цели решались следующие задачи:

1. Оценка качественных показателей исходного битума нефтяного дорожного вязкого БНД 100/130 на соответствие требованиям нормативной литературы.
2. Получение смесевых композиций на основе исходного битума и двух полимерных модификаторов различного состава и строения
3. Определение влияния модифицирующего действия бутадиен-стирольного термоэластопласта и 1,2-полибутадиена на технологические и эксплуатационные свойства полученных битумных вяжущих.

Результаты. Выполнено сравнение базовых характеристик сырьевых материалов многокомпонентной системы: окисленный нефтяной битум и термопластичные эластомерные материалы двух типов. Проведено исследование количественного влияния модифицирующих агентов: линейного бутадиен-стирольного термоэластопласта (ПАО «Нижекамскнефтехим») и синдиотактического 1,2-полибутадиена («Japan Synthetic Rubber Co.»). Выявлена динамика изменения показателей свойств битума, модифицированного отдельно каждым термоэластопластом в количестве от 0 до 5 масс. %. Показано, что для достижения существующих нормативных требований к полимерно-битумным вяжущим целесообразно использовать бутадиен-стирольный термоэластопласт линейного строения. Для синдиотактического 1,2-полибутадиена отмечена повышенная, в сравнении с синтетическим бутадиен-стирольным полимером, растворимость в сложных многокомпонентных нефтепродуктах, что является безусловным преимуществом при создании высоко насыщенных растворных композиций.

Выводы. Показана эффективность применения полимерных материалов типа термоэластопластов для регулирования качественных показателей битумных вяжущих и отмечена целесообразность применения различных по составу модифицирующих агентов при подборе составов на основе PG-классификации вяжущих.

Ключевые слова: бутадиен-стирольный термоэластопласт, синдиотактический 1,2-полибутадиен, полимерно-битумное вяжущее

Для цитирования: Высоцкий М.М., Рыбина А.С., Савицкий В.В., Небрatenко Д.Ю. Модификация окисленного битума термопластичными эластомерами различной топологии // Известия КГАСУ, 2024, № 1(67), с. 14-22, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/67.2, EDN: AGMZLQ

Modification of oxidized bitumen with thermoplastic elastomers of various topologies

M.M. Vysotsky¹, A.S. Rybina¹, V.V. Savitsky¹, D.Yu. Nebratenko¹

¹Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russian Federation

Abstract. Problem Statement. In recent years, modified bitumen has been widely used in road construction. One of the main requirements for the quality of bitumen binders is a stable adhesive ability to mineral materials of various nature and the stability of technological and operational properties over time. The modification of bitumen by elastomers of various composition and structure contributes to the increase of these indicators. The purpose of the study is a comparative assessment of the effect of oxidized petroleum road viscous synthetic thermoplastic elastomers of various chemical structures on the properties of bitumen.

To achieve the goal, the following tasks were solved:

1. Study of the properties of road binders modified with individual polymers of the class of thermoplastics.
2. Determination of the effectiveness of the use of synthetic thermoplastic elastomers based on butadiene monomers as modifying agents for petroleum road bitumen.

Results. The initial stage of the study was to assess the basic characteristics of the raw materials of the multicomponent system: oxidized petroleum bitumen and thermoplastic elastomeric materials of two types.

Investigation of quantitative influence of modifying agents was carried out using butadiene styrene thermoplastic elastomer and syndiotactic 1,2 polybutadiene. During the experiment the dynamics of changes of bitumen properties indices has been revealed, modified separately by each thermoplastic elastomer in an amount from 0 to 5 wt. %. It has been shown that in order to reach the existing normative requirements for polymer-bitumen binders it is advisable to use linear butadiene styrene thermoplastic elastomer. For syndiotactic 1,2 polybutadiene an increased, in comparison with SBS-polymer, solubility in complex multicomponent oil products has been noted. This is an absolute advantage while creating highly saturated mortar compositions.

Conclusions. The conducted studies demonstrate the effectiveness of the use of polymer materials such as thermoplastics to regulate the quality indicators of bitumen binders. The expediency of using modifying agents of different composition is evaluated. Due to the imminent introduction of the main provisions of the volumetric and functional design system, the data obtained can be used for the development of bitumen binders of different PG brands. Therefore, it is considered important to continue research in the field of mixed compositions based on thermoplastics of various chemical structures in order to optimize the compositions of road binders modified with polymers.

Keywords: butadiene styrene thermoplastic elastomer, syndiotactic 1,2 polybutadiene, polymer-bitumen binder (PmB)

For citation: Vysotsky M.M., Rybina A.S., Savitsky V.V., Nebratenko D.Yu. Modification of oxidized bitumen with thermoplastic elastomers of various topologies // News KSUAE, 2024, № 1(67), p. 14-22, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/67.2, EDN: AGMZLQ

1. Введение

Расширение температурного интервала эффективной работоспособности битумных вяжущих – одна из основных задач современного дорожного материаловедения. На протяжении десятков лет обычные окисленные битумы нефтяные дорожные вязкие (БНД) являются основным вяжущим при проведении строительных и ремонтных работах на автомобильных дорогах Российской Федерации [1]. Однако указанный тип вяжущего обладает повышенной хрупкостью в диапазоне отрицательных температур, наблюдающихся в зимний период более чем на 90% территории нашей страны. Такое изменение физико-химических свойств битумного вяжущего приводит к образованию

трещин в различных слоях асфальтобетонного покрытия и вынужденному ремонту уже в течении первых двух лет с момента введения дороги в эксплуатацию. В случае применения мягких битумных вяжущих (с высокой пенетрацией) указанных явлений можно было бы избежать – морозостойкость смесевых составов на их основе заметно лучше [2-4]. Однако при положительных температурах на поверхности асфальтобетонного покрытия, полученного на битумах с высокими значениями пенетрации, наблюдается появление сдвиговых деформаций, которые в дальнейшем, под воздействием нагрузки колесных пар, проявляют накопительный эффект.

Из выше описанного следует, что типовые битумы на основе окисленного нефтяного сырья могут обеспечить эффективную работоспособность только в диапазоне температур от минус 20 °С до плюс 50 °С, то есть общий температурный диапазон составляет не более 70 °С. Требуемый же диапазон в большей части регионов Российской Федерации составляет 140 °С (в пределах от минус 63 °С до плюс 67 °С). В названных условиях асфальтобетон на основе любой из выпускаемых марок БНД не может обеспечить длительный безремонтный срок эксплуатации автодорог [1].

Известно, что наиболее широко применяемыми в России и в мире эластомерными модификаторами битумов являются синтетические бутадиен-стирольные термоэластопласты (СБС-полимеры, БС ТЭП) [5-7]. Полимерно-битумные вяжущие (ПБВ) на основе СБС-полимеров, соответствующие ГОСТ Р 52056-2003, являются более предпочтительными для производства полимерасфальтобетонных смесей (ПАБС), чем ординарные битумы окисленные нефтяные дорожные вязкие (БНД) ввиду более широкого температурного интервала эксплуатации покрытий на их основе, прекрасной пластичности и большей эластичности ПАБС в сравнении с традиционными асфальтобетонными смесями (АБС). Наряду с широко используемыми бутадиен-стирольными термоэластопластами все чаще рассматриваются и другие полимерные материалы, так же относящиеся к классу термоэластопластов. Это объясняется уникальной способностью термоэластопластов соответствовать реологическим требованиям битумных вяжущих при различных условиях их переработки (прежде всего температурных) и эксплуатации покрытий на их основе. Постоянно расширяющийся спектр синтезируемых высокомолекулярных соединений, способных существенно скорректировать свойства ординарных окисленных битумов, открывает для технологов и исследователей новые перспективные возможности [11- 13].

Цель исследования является сравнительная оценка влияния на свойства битумов окисленных нефтяных дорожных вязких синтетических термоэластопластов различного химического строения и анализ возможности их использования в качестве полимерных модификаторов.

Для достижения цели решались следующие задачи:

1. Оценка качественных показателей исходного битума нефтяного дорожного вязкого БНД 100/130 на соответствие требованиям нормативной литературы.
2. Получение смесевых композиций на основе исходного битума и двух полимерных модификаторов различного состава и строения
3. Определение влияния модифицирующего действия бутадиен-стирольного термоэластопласта и 1,2-полибутадиена на технологические и эксплуатационные свойства полученных битумных вяжущих.

2. Материалы и методы исследования

Модификация битумов нефтяных дорожных окисленных в нашей стране более чем в 90% случаев проводится с применением бутадиен-стирольных термоэластопластов. Ранее авторами выполнены исследования по модификации вяжущих бутадиен-стирольными термоэластопластами, производимыми на АО «Воронежсинтезкаучук» (г. Воронеж) [7]. В работе представлены результаты аналогичных исследований, однако в качестве модификатора использован отечественный полимер марки SBS-330L линейного строения, выпускаемый ПАО «Нижекамскнефтехим» (Республика Татарстан, г. Нижнекамск), отличающийся достаточно высокой молекулярной массой, эластичностью и относительным удлинением. СБС-полимеры представляют собой двухфазную систему, дисперсионной фазой которой являются домены полистирола. Распределение частиц

дисперсной фазы (бутадиеновые звенья) узкое, а расстояние между ними имеет единственный максимум в области 25 нм. Средняя молекулярная масса $M_n = 25 \cdot 10^4$ [5, 7, 12]. Схематично макромолекула бутадиен-стирольного термоэластопласта представлена на рис.1.

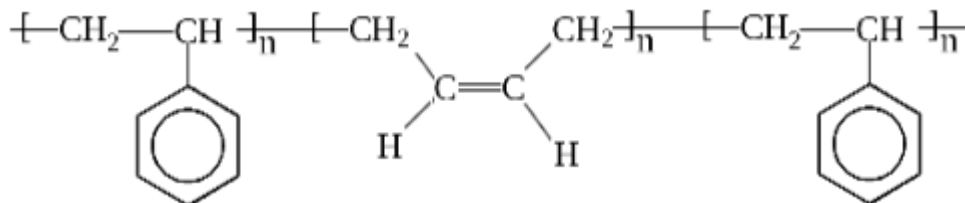


Рис. 1. Структура макромолекулы бутадиен-стирольного термоэластопласта (иллюстрация авторов)

Fig. 1. The structure of the macromolecule of styrene-butadiene thermoplastics (illustration by the authors)

В работе так же использовался синдиотактический 1,2-полибутадиен (1,2-СПБ), получаемый стереоспецифической полимеризацией бутадиена. В отличие от 1,4-полибутадиенов и 1,2-полибутадиена атактического строения, 1,2-СПБ проявляет свойства термоэластопласта, т.е. сочетает эластичность вулканизированных каучуков со способностью переходить в вязкотекучее состояние при повышенных температурах и перерабатываться подобно термопластичным полимерам. Промышленное производство 1,2-СПБ (JSR RB) освоено фирмой «Japan Synthetic Rubber» (Япония) [10, 13]. Определенные успехи в проведении аналогичных работ по синтезу 1,2-СПБ достигнуты и в России [11, 14, 15].

Согласно [16] строение макромолекул 1,2-СПБ можно представить в следующем образом:

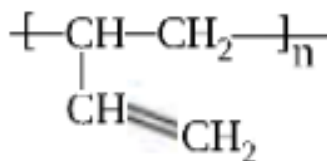


Рис. 2. Структура макромолекулы синдиотактического 1,2-полибутадиена (иллюстрация авторов)

Fig. 2. Structure of macromolecules of syndiotactic 1,2-polybutadiene (illustration by the authors)

При высоком содержании 1,2-звеньев (90-95%) и соответствующей средней молекулярной массе $M_n = (90-120) \cdot 10^3$, синдиотактический 1,2-полибутадиен имеет кристалличность до 35% [10, 14, 16].

Количественные показатели использованных в работе термоэластопластов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Физические характеристики термоэластопластов SBS-330L и JSR RB 830

№ п/п	Наименование показателя	SBS-330L	JSR RB 830
1	Плотность, г/см ³	1,01	0.909
2	Содержание 1.2-звеньев, %	12-18	93
3	Показатель текучести расплава при 150 °С	0-1	3
4	Температура плавления, °С	199	105
5	Температура хрупкости, °С	---	- 36
6	Модуль упругости при удлинении 300 %, МПа	2.9	7.8
7	Прочность при растяжении, МПа	18.0	12.7
8	Относительное удлинение, %	750	670
9	Твердость по Шору А, условные единицы	74	99
10	Термоусадка, %	---	0.3-0.6
11	Молекулярная масса, $M_w \times 10^3$	250	116

В качестве битумного связующего в ходе исследований использовались окисленные битумные вяжущие, паспортизируемые как битумы нефтяные дорожные вязкие марки БНД 100/130, соответствующие по ГОСТ 33133-2014 и произведенные на одном из нефтеперерабатывающих заводов в Приволжском федеральном округе (табл. 2).

Таблица 2

Показатели качества исходного битумного вяжущего БНД 100/130

№ п/п	Наименование показателя	Требования ГОСТ 33133-2014	Фактические значения	Метод испытания
1	Глубина проникания иглы, 0,1 мм, при 25 ⁰ С	101-130	109	ГОСТ 33136
2	Глубина проникания иглы, 0,1 мм, при 0 ⁰ С, не менее	30	37	ГОСТ 33136
3	Растяжимость, см, при температуре 25 ⁰ С, не менее	70	97	ГОСТ 33138
4	Растяжимость, см, при температуре 0 ⁰ С, не менее	4,0	6,3	ГОСТ 33138
5	Температура размягчения по кольцу и шару, ⁰ С, не ниже	45	46	ГОСТ 33142
6	Температура хрупкости, ⁰ С, не выше	-20	-21	ГОСТ 33143
7	Температура вспышки, ⁰ С, не ниже	230	257	ГОСТ 33141
8	Изменение массы образца после старения, %, не более	±0.7	0.3	ГОСТ 33140
9	Содержание твердых парафинов, %, не более	3.0	1.7	ГОСТ 33139

Групповой состав исходного битума, определённый по методу S.A.R.A. IP 469/1, показал достаточно высокие значения для асфальтенов (29,632%) и смоляных компонентов (34,552%). Содержание ароматических и насыщенных углеводородов составляло 21,241% и 14,575% соответственно. При этом суммарное количество мальтеновых компонентов (масляных и низкомолекулярных смоляных фракций) достаточно для образования устойчивой дисперсионной среды.

Содержание бутадиен-стирольного термоэластопласта и синдиотактического 1.2 полибутадиена в исследуемых композициях варьировалось от 0,5 до 5 масс. %, что соответствовало ранее отработанной методике проведения испытаний [11]. Учитывая значительное количество мальтенов в составе исходного битума, в применении пластифицирующих компонентов в составе ПБВ необходимости не было.

Изготовление полимерно-битумных смесей для проведения исследований проводилось в следующей последовательности: полимерные компоненты порциями вводили в исходный битум в течение 15-20 минут с помощью лабораторного высокоскоростного диспергатора с высоким усилием сдвига (600-1000 об/мин). Эти условия позволяют обеспечить необходимый уровень механического измельчения полимера и распределения эластичных частиц полимеров по всему объёму битумной смеси. Далее, при постоянном механическом перемешивании (лопастная мешалка, 500 об/мин), проводилось дозревание полимерно-битумной смеси и за 2-2,5 часа полимерные частицы полностью разворачивались и набухали, что наблюдалось в увеличении вязкости системы. Количественные показатели полученных смесевых композиций оценивали в соответствии с требованиями действующих национальных стандартов.

3. Результаты и обсуждение

Полученные в ходе исследований данные подтвердили известный факт о способности СБС-полимеров поглощать мальтеновые фракции из состава исходного битума и увеличиваться в объеме в 7-9 раз, активно влияя на вязкостные характеристики смесевой композиции [6, 17]. Образующаяся в результате трехмерная эластичная структура агрегируется с асфальтеновым каркасом вяжущего и повышает его способность к восприятию силовых и ударных нагрузок.

Общеизвестно, что ПБВ на БС ТЭП отличаются высокой вероятностью расслаивания при статическом режиме хранения и транспортировки. Важно отметить способность синдиотактического 1,2-полибутадиена обеспечивать стабильность

вяжущего от расслоения за счет вовлечения в перекрёстное взаимодействие достаточно большого числа ненасыщенных связей $>C=C<$ 1,2 СПБ и асфальтовых агломератов. Кристаллитные области синдиотактического 1,2-полибутадиена, как под действием температурных параметров, так и при механическом воздействии, способны переходить в вязкотекучее состояние [13]. Указанное обстоятельство препятствует использованию 1,2 СПБ в качестве единственного модификатора с целью получения полимерно-битумных вяжущих, соответствующих требованиям ГОСТ Р 52056-2003.

Динамика изменения основных свойств битума, модифицированного отдельно каждым термоэластопластом в количестве от 0 до 5 масс. %, представлена на рис. 3

Очевидно, что с ростом количества распределенного в объеме битумного вяжущего полимерных агломератов, способных к набуханию и растворению, глубина проникания иглы при фиксированной температуре испытаний уменьшится (рис. 3).

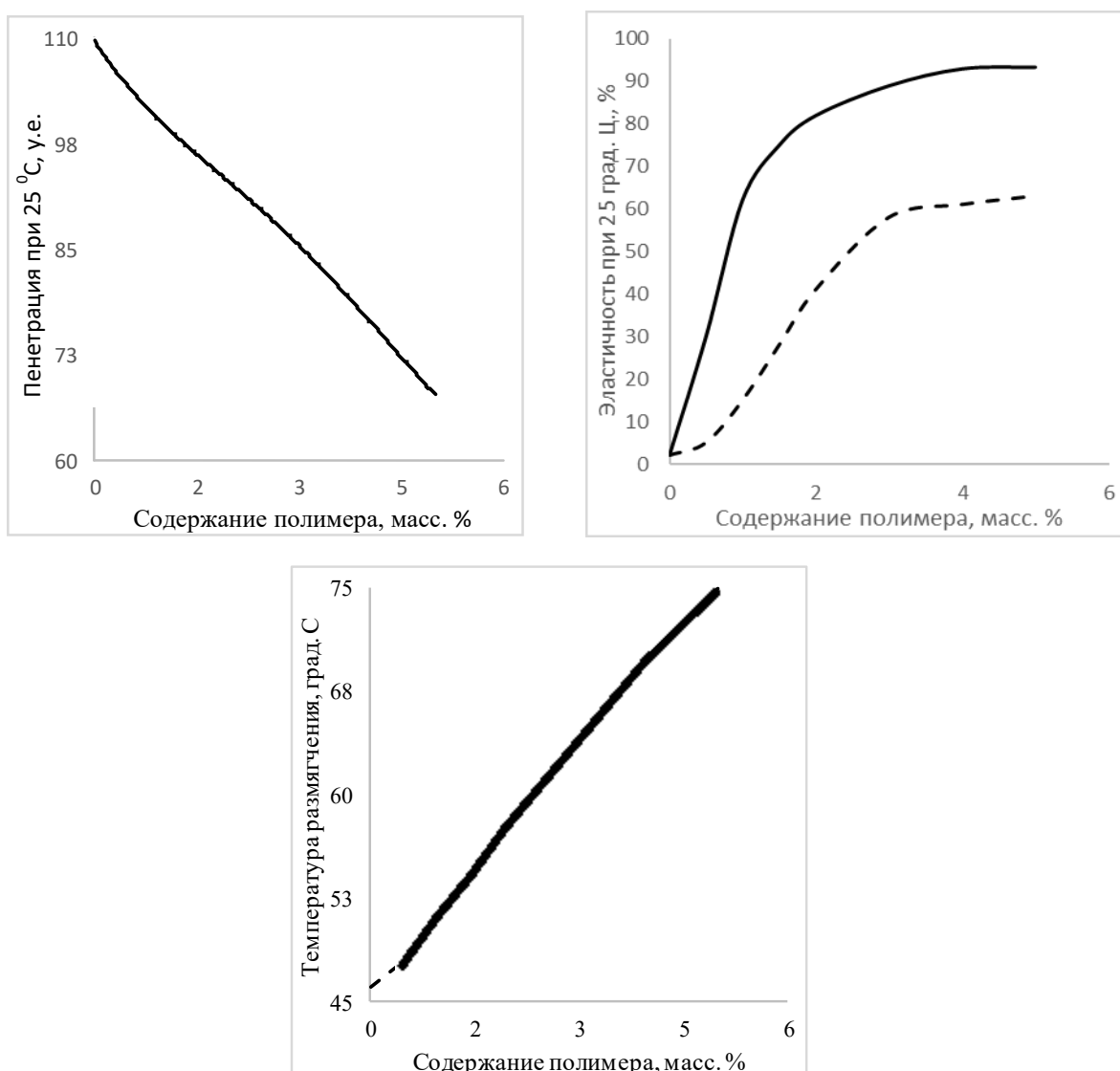


Рис. 3. Физико-механические показатели смеси на основе БС ТЭП (сплошная линия) и 1,2 СПБ (штриховая линия) в зависимости от содержания полимера (иллюстрация авторов)

Fig. 3. Physico-mechanical parameters of the mixture based on SBS (solid line) and 1,2 SPB (dashed line) depending on the polymer content (illustration by the authors)

Теплофизические показатели, к которым относится и температура размягчения исследуемой смеси битума и полимера, во многом определяются величиной молекулярной массы полимера, поэтому, при увеличении в составе смеси содержания

полимера с высоким значением температуры размягчения, увеличивается и степень его влияния на указанные показатели. Этим объясняется больше влияние на температуру размягчения смеси именно SBS-330L, характеризующегося высокой молекулярной массой. Можно отметить, что при введении 1,2 СПБ в исходный битум в количестве 5 % температура размягчения вяжущего возрастает по сравнению с исходным битумом в 1.6 раза, а для SBS-330L увеличение составляет 1,75 раза.

Одним из возможных путей снижения температуры хрупкости полимерно-битумных композиций является введение в их состав низкомолекулярных углеводородов, оказывающих на битумы пластифицирующее действие [18, 19]. В данном случае, не смотря на высокое содержание мальтенов в исходном битуме, требуемой эластичности, соответствующей ГОСТ Р 52056-2003, с использованием исключительно синдиотактического 1,2-полибутадиена в исследованном диапазоне концентраций достигнуто не было.

4. Заключение

1. Оценка качественных показателей исходного битума нефтяного дорожного вязкого БНД 100/130 на соответствие требованиям ГОСТ 33133-2014 показала, что, не смотря на выполнение нормированных показателей, битумы окисленные дорожные вязкие, без дополнительной модификации, не в состоянии обеспечить весь комплекс свойств на всей территории Российской Федерации.

2. Для природно-климатических условий России и качественных показателей крупнотоннажно производимых в стране окисленных нефтяных дорожных битумов оптимальным полимерным модификатором на протяжении последних 65 лет остаются бутадиен-стирольные термоэластопласты. Показано, что использование СБС-полимеров даже в достаточно небольших концентрациях способно обеспечить полный комплекс свойств, регламентированных ГОСТ Р 52056-2003 и гарантировать подбор оптимального состава вяжущих для всех регионов Российской Федерации.

3. Установлено что повышенная растворимость 1,2-СПБ в сложных многокомпонентных нефтепродуктах, является определённым преимуществом по сравнению с блоксополимером SBS-330L. При этом 1,2-полидиены в исходном битуме достаточно хорошо растворяются (а не набухают, подобно полимеру SBS-330L). Продолжительность их растворения при 160°C не превышает двух часов. Это способствует понижению вязкости битумно-полимерной смеси, а, следовательно, улучшает укрываемость каменных материалов в ходе процесса смешения на АБЗ, что в итоге приведет к сокращению времени на смешение и к снижению энергетических затрат.

4. Показано, что уровень качественных и количественных показатели от полимерно-битумных вяжущих на основе БС ТЭП производимых на АО «Воронежский завод синтетического каучука» и ПАО «Нижекамскнефтехим».

Целесообразно продолжить исследования в области смесевых композиций на основе термоэластопластов различного состава с целью оптимизации показателей ПБВ.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке и научном сопровождении кафедры Химии и технологии переработки эластомеров имени Ф.Ф. Кошелева «МИРЭА-Российский технологический университет» (г. Москва).

Список литературы / References

1. Гохман Л.М. Дорожный полимерасфальтобетон. М: Экон-Информ, 2017. 480 с. [Gokhman L.M. Road polymerasphalt concrete. M: Econ-Inform, 2017. 480 p.]
2. Пискунов И. В., Харпаев А. В., Башкирцева Н. Ю., Рожков И.М. Основные тенденции в производстве и применении битумных материалов / Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт, 2021. № 11, С. 3-16 [Piskunov I. V., Harpaev A.V., Bashkirtseva N. Yu., Rozhkov I.M. The main trends in the production and application of bitumen materials / Oil refining and petrochemistry. Scientific and technical achievements and best practices, 2021. No. 11, P. 3-16]

3. Симчук Е.Н., Харпаев А. В., Рожков И.М. Современные подходы к моделированию старения битумных вяжущих материалов в лабораторных условиях / Дороги и мосты, 2023. вып. 48, С. 274-305 [Simchuk E.N., Kharpaev A.V., Rozhkov I.M. Modern approaches to modeling the aging of bitumen binders in laboratory conditions / Roads and Bridges, 2023. Iss. 48, P. 274-305].
4. Саламанова М.Ш., Муртазаев С-А.Ю., Батаев Д.К-С., Аласханов А.Х. Теоретические основы совместимости многокомпонентных наполненных вяжущих систем / Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2020, № 47 (1), С.165-173. DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-1-165-173 [Salamanova M.Sh., Murtazaev S-A.Yu., Bataev D.K-S., Albaskhanov A.H. Theoretical foundations of compatibility of multicomponent filled knitting systems / Bulletin of Dagestan State Technical University. Technical sciences. 2020, No. 47 (1), P.165-173. DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-1-165-173]
5. Ширяев А.О., Обухов А.Г., Высоцкая М.А., Шеховцова С.Ю. Полимерные модификаторы битумных вяжущих / Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова. 2017. №11. С. 48-54 [Shiryayev A.O., Obukhov A.G., Vysotskaya M.A., Shekhovtsova S.Yu. Polymer modifiers of bitumen binders / Bulletin of BGTU named after V. G. Shukhov. 2017. No.11. P. 48-54]
6. Kashevskaya E.V., Boksha M.Yu., Isakov A.M., Nebratenko D.Yu. Závislosti vlivu struktury polymerů SBS na vlastnosti polofoukaných a oxidovaných asfaltových pojiv. Zkoušení materiálů a konstrukcí vozovek. ASFALTOVÉ VOZOVKY, 2021, P.2-3
7. Nebratenko D.Yu., Boksha M. Yu., Isakov A. M. Influence of SBS polymers of various structure on the properties of semi-blown bitumen binders / Roads and Bridges - Drogi i Mosty, 21 (2022), P. 5 – 17 DOI: 10.7409/rabdim.022.001
8. Nizhnekamskneftekhim. Styrene-butadiene block-copolymer (SBS) grade SBS-330. TY 20.17.10-214-05766801-2020 <https://www.nknh.ru/en/products/rubbers/tpc/blok-sopolimer-stirol-butadien-stirolnyu-sbs/>
9. Махиянов Н. Структурный состав бутадиен-стирольных сополимеров по данным спектроскопии ЯМР: резонанс на ядрах ^1H и ^{13}C / Журнал прикладной химии, 2021, Т. 94, № 1, стр. 72-80 DOI: 10.31857/S0044461821010102 [Makhiyanov N. Structural composition of styrene-butadiene copolymers according to NMR spectroscopy data: resonance on ^1H and ^{13}C nuclei / Journal of Applied Chemistry, 2021, Vol. 94, No. 1, P. 72-80 DOI: 10.31857/S0044461821010102]
10. Technical brochure JSR Elastomer Products Div. Specialty Elastomer Dept. 2020, 12 p.
11. Небрятенко Д.Ю., Лушников Н.А. Полимерные модификаторы битума: бутадиен-стирольный термоэластопласт и синдиотактический полибутадиен / Вестник ВСГУТУ. 2022. № 2 (85), С. 78-86 DOI 10.53980/24131997_2022_2_78 [Nebratenko D.Yu., Lushnikov N.A. Polymer bitumen modifiers: styrene-butadiene thermoplastics and syndiotactic polybutadiene / Bulletin of VSGUTU. 2022. No. 2 (85), P. 78-86 DOI 10.53980/24131997_2022_2_78]
12. Чалых А.Е., Тимофеева В.Ф., Рябчикова Г.Г., Матвеев В.В., Алиев А.Д. Диффузия низкомолекулярных веществ в привитые бутадиен-стирольные блок-сополимеры и их структура / Высокомолекулярные соединения. 1986. Т. 27. №11. С. 2297-2302 [Chalykh A.E., Timofeeva V.F., Ryabchikova G.G., Matveev V.V., Aliev A.D. Diffusion of low molecular weight substances in grafted butadiene-styrene block copolymers and their structure / High Molecular Compounds. 1986. Vol. 27. №11. P. 2297-2302].
13. Термоэластопласты / Под ред. В. В. Моисеева. М.: Химия, 1985. 184 с. [Thermoplastic elastomers / Ed. by V. V. Moiseev. M.: Chemistry, 1985. 184 p.].
14. Пат. РФ 2177008 С08F136/06. Бырихина Н. Н., Аксенов В. И., Кузнецов Е. И. Способ получения синдиотактического 1,2-полибутадиена. / Оpubл. 20.12.2001 [Patent of Russian Federation 2177008 С08F136/06. Byrikhina N. N., Aksenov V. I., Kuznetsov E. I. Method of preparation of syndiotactic 1,2-polybutadiene. //Publ. 20.12.2001].
15. Абдуллин М. И., Глазырин А. Б., Куковинец О. С., Басыров А. А., Муслухов Р. Р. Химическая модификация синдиотактического 1,2-полибутадиена / Известия

- ВУЗов. Химия и химическая технология. 2012. №5. С. 71-78 [Abdullin M. I., Glazyrin A. B., Kukovinets O. S., Basyrov A. A., Muslukhov R. R. Chemical modification of syndiotactic 1,2-polybutadiene / Izvestiya VUZov. Chemistry and chemical technology. 2012. No.5. P. 71-78]
16. Паспорт безопасности / Material Safety Data Sheet (MSDS) № RB830I - E06 на JSR RB 830 («Japan Synthetic Rubber Co.») [Material Safety Data Sheet (MSDS) № RB830I - E06 на JSR RB 830 («Japan Synthetic Rubber Co.»)].
 17. Гохман Л.М. Исследование свойств компонентов дорожного битума / Автомобильные дороги, 2018, №4. С. 94-101 [Gokhman L.M. Investigation of the properties of road bitumen components / Highways, 2018, No. 4. P. 94-101].
 18. Брызгалов Н. И., Кемалов А. Ф. Особенности системы объемного проектирования асфальтобетонной смеси по технологии SUPERPAVE и определение марки PG битумного вяжущего / Вестник СибАДИ. 2023. Т. 20, № 2(90). С. 278-290. DOI 10.26518/2071-7296-2023-20-2-278-290 [Bryzgalov N. I., Kemalov A. F. Features of the system of volumetric design of asphalt concrete mixture using SUPERPAVE technology and determination of the PG grade of bitumen binder / Bulletin of SibADI. 2023. Vol. 20, No. 2(90). P. 278-290. DOI 10.26518/2071-7296-2023-20-2-278-290]
 19. Fomin A., Khomyakov, A. Asphalt concrete based on bituminous polysulfide binder, designed according to the volumetric method / Construction of Unique Buildings and Structures, 2022. 105Article No 10512. DOI: 10.4123/CUBS.105.12

Информация об авторах

Высоцкий Максим Михайлович, инженер 1 категории, Российский университет транспорта, г. Москва, Российская Федерация

E-mail: vysotskiy.max@yandex.ru

Рыбина Арина Сергеевна, инженер, Российский университет транспорта, г. Москва, Российская Федерация

E-mail: rybina-arina@mail.ru

Савицкий Валерий Викторович, кандидат технических наук, доцент, Российский университет транспорта, г. Москва, Российская Федерация

E-mail: saviktor777@gmail.com

Небратенко Дмитрий Юрьевич, кандидат химических наук, доцент, Российский университет транспорта, г. Москва, Российская Федерация

E-mail: nebratenko@mail.ru

Information about the authors

Maxim M. Vysotsky, engineer of the 1st category, Russian University of Transport, Moscow, Russian Federation

E-mail: vysotskiy.max@yandex.ru

Arina S. Rybina, engineer, Russian University of Transport, Moscow, Russian Federation

E-mail: rybina-arina@mail.ru

Valery V. Savitsky, candidate of technical sciences, associate professor, Russian University of Transport, Moscow, Russian Federation

E-mail: saviktor777@gmail.com

Dmitry Yu. Nebratenko, candidate of chemical sciences, associate professor, Russian University of Transport, Moscow, Russian Federation

E-mail: nebratenko@mail.ru