

DOI: 10.12737/article_5a001ab17b16b5.53910446

¹Ширяев А.О., магистрант,¹Обухов А.Г., аспирант,¹Высоцкая М.А., канд. техн. наук, доц.,²Шеховцова С.Ю., канд. техн. наук, ст. преп.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова²Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

ПОЛИМЕРНЫЕ МОДИФИКАТОРЫ БИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ

roruri@rambler.ru

В любой отрасли наступает такой момент, когда ее дальнейшее развитие становится невозможным без применения современных материалов и технологий, которые позволят не только удешевить, но и перевести ее на качественно новый уровень. Это способствовало многочисленным исследованиям во всем мире, нацеленным на создание новых современных материалов, в том числе дорожно-строительных, характеризующихся совокупностью эффективных характеристик самих композитов и эксплуатационной надежностью конструкций, выполненных из них. Стремление обеспечить долговечность покрытий автомобильных дорог в условиях роста нагрузок и интенсивности движения вызвало большую популярность использования асфальтобетонных смесей на полимермодифицированном вяжущем. В связи с чем, рынок полимерных материалов постоянно расширяется, а производители полимерно-битумных вяжущих, стремясь понизить себестоимость продукции, не теряя высоких эксплуатационных характеристик, с интересом относятся к появлению большого числа дешевых полимеров, не уступающих по качеству дорогим аналогам.

Ключевые слова: битум, модификация битума, полимерно-битумное вяжущее, полимеры, морфология поверхности.

Введение. В настоящее время результатом развития машиностроительных и транспортных предприятий в стране и мире являются все более совершенные механизмы, способные перевозить значительные грузы со всё возрастающими скоростями, что способствует увеличению товарооборота, приводит к росту интенсивности движения транспортных средств и нагрузок на дорожную сеть страны. И хотя традиционные материалы в течение многих лет обеспечивали удовлетворительное качество дорог, современные условия эксплуатации выдвигают повышенные требования к покрытиям объектов дорожной инфраструктуры. Поэтому, всё чаще предприятия дорожной отрасли вынуждены использовать различные модифицирующие добавки, улучшающие показатели свойств исходного вяжущего – битума, в том числе и полимерные. Битумы, модифицированные полимерами, называют полимерно-битумными вяжущими (ПБВ).

Модификация битума полимерами позволяет повысить сдвигоустойчивость и трещиностойкость, а также сопротивление усталостному разрушению асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог [1–5]. По этой причине, использование в дорожном строительстве полимерных модификаторов для битумов, несмотря на их высокую стоимость, считается экономически оправданным.

Основная часть. Одним из основных споров, возникающих вокруг ПБВ, если не учитывать вопрос о пластификаторах, является выбор полимера, используемого для его приготовления. Сегодня на рынке представлен широкий ассортимент различных полимерных модификаторов, отличающихся по свойствам, природе и структуре. Классификационных признаков в химии полимеров достаточно много, но основными классификаторами, используемыми в дорожной отрасли, являются физические свойства полимеров, их поведение при высоких температурах и форма макромолекулы.

По форме макромолекулы органические полимеры можно разделить на [6]:

- Линейные;
- Разветвленные (радиальные).
- Сетчатые или сшитые.

При переходе от линейных цепей к разветвленным и далее к густым сетчатым структурам комплекс полезных свойств становится менее выраженным.

Довольно известной [7–9] является классификация полимеров в зависимости от отношения к нагреванию и растворителям, которая делит их на термопластичные и терморективные. Термопластичными называют вещества, которые при нагревании переходят из твердого состояния в жидкое (плавятся), а при охлаждении вновь за-

твердевают, причем такие переходы многократны. У термореактивных полимеров этот переход из жидкого состояния в твердое происходит необратимо.

По физическим свойствам полимеры можно разделить на две [10] большие группы: пластомеры и эластомеры. Пластомеры – термопластичные вещества – термопласты (ТП). Одними из ранних модификаторов класса пластомеров, являются полиолефины [11–13]. Наиболее распространенные полиолефины – полиэтилен и полипропилен. Полиэтилен воздействует на битум как отвердитель, способствующий снижению термической чувствительности вяжущего. Для дорожного строительства обычно отбирают полиэтилены, слабо реактивные и устойчивые к окислению [13], такие как полиэтилен высокой плотности (ПЭВП), полиэтилен низкой плотности (ПЭНП), изотактический полипропилен, атактический полипропилен и др. Данные полимеры стали вводить в битум в связи с их относительно низкой стоимостью и рядом преимуществ таких как: повышение вязкости вяжущего и снижение высокотемпературной чувствительности. Однако часто возникавшие проблемы стабильности при хранении ограничивали время хранения модифицированного битума и обуславливали необходимость постоянного его перемешивания, что в итоге ограничило применение таких полимеров в качестве модификатора битума [14, 15].

Также, при модификации битума используются пластомеры, являющиеся сополимерами этилена [16] – это полимеры типа этилен-винил ацетата (ЭВА) и этилен-бутил ацетата (ЭБА). В полимерах такого типа механические свойства определяет содержание винилацетата. Низкое его содержание приближает свойства полимера к свойствам полиэтилена низкой плотности. С увеличением содержания винилацетата растет прозрачность, гибкость, способность к смешиванию и сшивке, но одновременно увеличивается слипаемость и твердость сырья, падает температура размягчения модифицированного вяжущего, уменьшаются разрушающие напряжения при растяжении и теплостойкость. К пластомерам так же относятся так называемые пластмассы, например, полистирол.

Хотя ряд свойств битума, модифицированного пластомерами, улучшается, существуют недостатки, ограничивающие их применение. Главным ограничителем является, не возможность улучшить упругое восстановление будущего ПБВ, и подверженность старению.

Полимеры, имеющие при обычных температурах ярко выраженные высокоэластические свойства, относятся к группе эластичных матери-

алов – эластомеров [10]. Изначально естественными эластомерами являлись натуральные каучуки, однако необходимые промышленные объемы способствовали переходу полностью на синтетические каучуки [17]. Синтетические каучуки, как модификаторы битума, увеличивают растяжимость и эластичность, повышают тепло- и трещиностойкость, пластичность при низких температурах и устойчивость битума к старению. В отличие от термопластов при приложении растягивающей силы эти материалы могут удлиняться в 2 – 10 раз, а после прекращения действия этой силы восстанавливать свои первоначальные размеры. Это свойство объясняется особенностью строения каучуков. Их макромолекулы не вытянуты в линию, а как бы свернуты в спираль [8].

Один из самых перспективных и наиболее часто используемых в дорожной отрасли классов промышленных полимеров – термопластичные эластомеры (термоэластопласты или ТЭП) [18]. Благодаря своему строению они объединяют в себе свойства, как термопластов, так и эластомеров. Наибольшую популярность среди полимеров данного вида получили термопластичные эластомеры, (СБС, SBS). В настоящее время существует большое разнообразие полимеров типа СБС, отличающихся по форме, молярной массе, свойствам стирола и бутадиена и др.

Отдельное направление – это получение комплексных модификаторов [19, 20]. Идея их применения заключается в использовании при модификации битума функциональных свойств различных по природе полимеров.

Целью работы было изучение влияния недавно появившихся на рынке РФ полимеров на свойства битума и изучение их структурирующей способности при приготовлении ПБВ. Перед рассмотрением полимерных модификаторов, стоит отметить, что исходный битум вносит существенный вклад в конечный результат модификации, что вполне логично, так как битум имеет свой собственный химический состав и структуру, однако, ввиду использования битума одной партией, этот фактор не учитывался

Принято, что исходный битум, содержание пластификатора, технология приготовления и созревания, ПБВ – величины неизменные. В работе варьировали маркой полимера и его концентрацией в системе. Для исследования применялся битум марки БНД 90/130 Московского нефтеперерабатывающего завода (МНПЗ); пластифицирующий компонент в количестве 2 %. Подобное содержание пластификатора не вносит существенных изменений в показатели свойств битума, но необходимо для приготовления ПБВ. Серия полимеров следующих марок: полистрирол (ПС) – 525, LG EVA 28400, Calprene 501M,

Globalprene 3501, SBS L 30-01 А. Наполнение системы полимером осуществлялось в концентрационных пределах 1–5 %, после чего оценивалась структурирующая способность полимера.

Как отмечалось ранее, морфология поверхности полимеров, важный аспект на пути получения качественного ПБВ. Для изучения структуры полимеров использовался метод сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Исследование выполнялось посредством автоэмиссионного

электронного микроскопа TESCAN MIRA3 LMU, имеющего техническую возможность исследовать непроводящие электрический ток образцы в их естественном состоянии, без какого бы то ни было напыления токопроводящим слоем и позволяющего получать поверхности исследуемого объекта с высоким разрешением. Полученные морфологии поверхностей полимеров представлены на рис. 1.

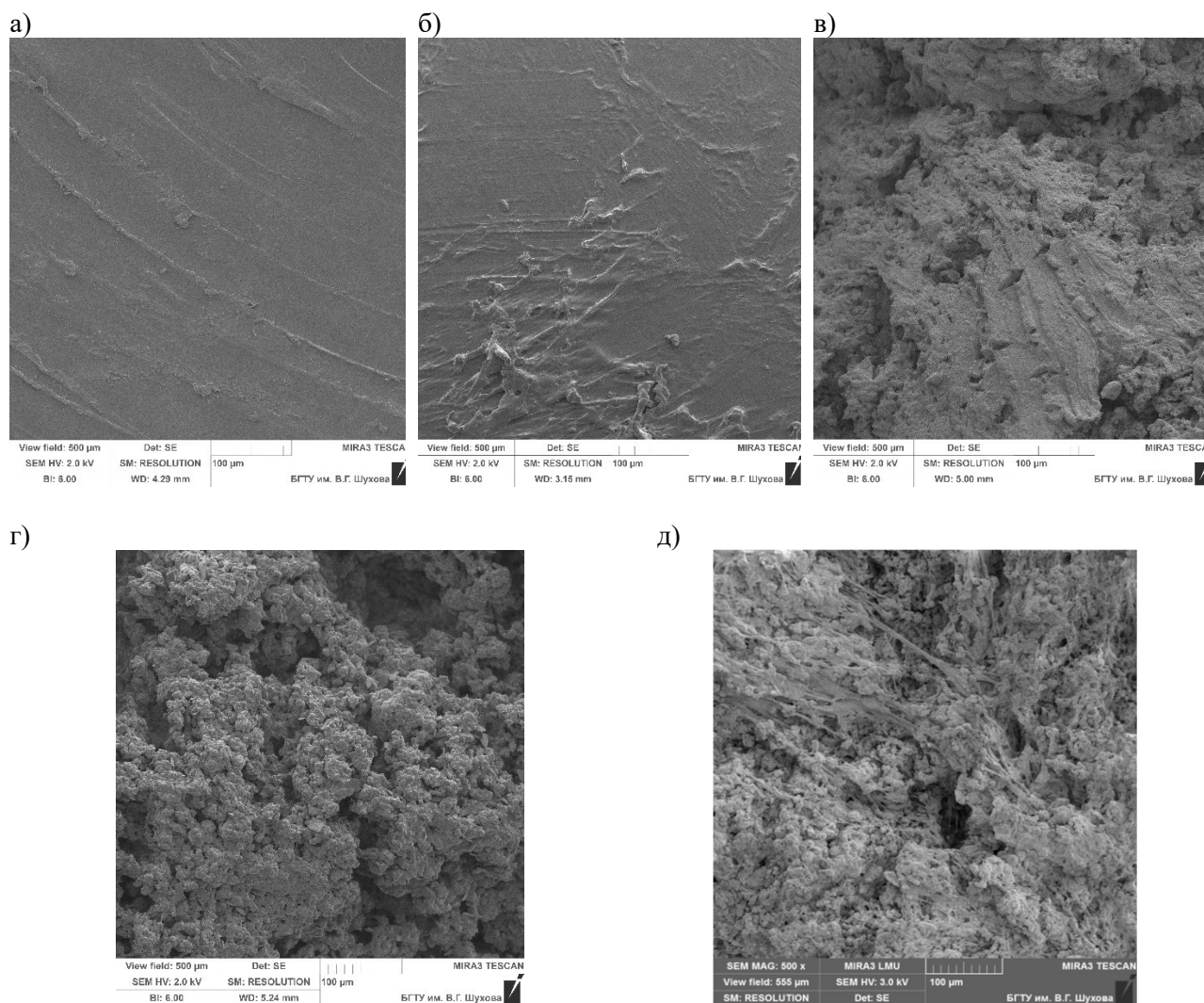


Рис. 1. Микрофотография поверхности полимеров марки:
а) Полистирол (ПС) – 525, б) LG EVA 28400, в) Calprene 501M, г) Globalprene 3501, д) SBS L 30-01 А

Как видно, у представленных пластимеров на рис. 1, а, б, более плотная упаковка молекул, что вполне закономерно для их кристаллической структуры. Таким полимерам свойственна низкая подвижность структурных звеньев. Однако у полимера марки LG EVA 28400 заметна более рельефная микроструктура поверхности, в отличие от полистирола, имеются возвышения и углубления. Наличие микропор на поверхности гранул, рис. 1 в, г, будет приводить к большей избира-

тельной диффузии компонентов битума. Структура синтетических каучуков, является аморфной. Именно благодаря такой рыхлой структуре, каучуки являются более мягкими и гибкими. Более разветвленная форма радиальных полимеров способствует еще большему числу контактов на поверхности, что хорошо видно при рассмотрении поверхности полимера на рис. 1г.

По степени упорядоченности расположения макромолекул различают два типа фазовых со-

стояний полимеров [21]: аморфное и кристаллическое. Аморфная фаза характеризуется хаотическим расположением макромолекулы с некоторой упорядоченностью структуры, соблюдаемой на относительно небольших расстояниях, соизмеримых с размером макромолекулы. Кристаллическая фаза характеризуется упорядоченным расположением макромолекул в полимере, при этом упорядоченность соблюдается на расстояниях, превышающих размеры макромолекулы в сотни и тысячи раз. В свою очередь, скорость растворения полимера в битуме зависит от площади удельной поверхности их соприкосновения. Так при контакте с битумом сразу в реакцию вступают только функциональные группы, расположенные на поверхности гранул полимера. К функциональным группам, не расположенным на поверхности, ароматические углеводороды битума должны предварительно продифундировать. Продолжительность такой диффузии определяется многими факторами и одним из них является плотность упаковки макромолекул полимера. Различная доступность функциональных групп макромолекул или их звеньев, расположенных в аморфных и кристаллических областях, может явиться причиной неоднородности продуктов реакции и, следовательно, ухудшить качество модифицированного вяжущего.

Таким образом, анализируя морфологию поверхности рассматриваемых полимеров, можно предположить, что образцы Calprene 501M, Globalprene 3501 и SBS L 30-01 A. В виду рыхлости своей структуры будут более эффективно и быстрее вступать во взаимодействие с компонентами битума, структурировать его и формировать стабильное и однородное ПБВ.

Для оценки влияния полимеров на битум, была запроектирована и приготовлена серия составов ПБВ. Полимерно-битумное вяжущее готовили по следующей технологии: в предварительно обезвоженный битум вводили пластифицирующий компонент, и перемешивали в течение 10 минут со скоростью 3500 об/мин, довели до температуры 170 °С и вводили навеску модификатора, после чего полученную смесь перемешивали в течение 20 минут со скоростью 5500 об/мин до полного растворения полимера. После чего, для лучшего диспергирования полимера в битуме скорость понижали до 4500 об/мин и перемешивали еще 2 ч. Спустя 2 часа скорость понижалась до 1200 об/мин и образец ПБВ подвергался перемешиванию еще в течении часа для завершения реакций между модификатором и углеводородами полученной ранее основы. После чего емкости с ПБВ помещались в сушильный шкаф и выдерживались в нем в течение 2 ч до

полного созревания. По окончанию процесса созревания у образцов ПБВ определялись показатели свойств. Полученные в ходе испытания данные представлены в таблице 1.

Результаты испытаний показывают, что пенетрация битума после введения полимера понижается с переходом в более вязкую марку. Наиболее ярко процессы структурирования битума проявились при введении полимеров «Полистирол (ПС) – 525» и «LG EVA 28400», с плотной упаковкой макромолекул полимера, рис. 1а, б. Как видно, из табл. 1, используя эти полимеры в интервале варьирования 1–4 % получить ПБВ 60 не удалось. Следовательно, при малом содержании пластификатора и повышенном содержании полимерного модификатора следует опасаться резкого ухудшения технологических свойств вяжущих, а также снижения производительности заводов в связи с их высокой вязкостью. Очевидно, для использования этих полимеров для приготовления ПБВ необходимо большее содержание пластификатора либо комплексное введение с другим полимером.

Полимеры Calprene 501M, Globalprene 3501, SBS L 30-01 A, характеризующиеся рыхлой структурой оказывают более «мягкое» структурирующее воздействие. При этом, по комплексу показателей свойств в установленных условиях, используя эти полимеры возможно получить ПБВ 60 при содержании 3 %.

Однако оценка эффективности полученных ПБВ может быть произведена только в условиях, когда известны требования потребителя к модифицированному вяжущему, с возможной корректировкой состава введением дополнительного содержания полимера.

В общем виде, у всех образцов наблюдается рост температуры размягчения, однако изменение этого показателя значительно меньше, чем пенетрации. Что касается низкотемпературных характеристик, то они претерпевают незначительные изменения.

Растяжимость при 25 °С, как правило, с увеличением содержания полимера падает, по сравнению с исходным битумом. Происходит это из-за образования эластичной пространственной полимерной сетки, которая повышает степень структурированности системы. Эластичность при равном содержании полимера приобретает большее значение в случае применения эластомеров. Существует и обратная зависимость, чем больше эластичность ПБВ, тем меньше его когезия. Это подтверждает правило, согласно которому с ростом твердости полимеров их эластичность уменьшается [22], о чем также свидетельствуют полученные данные, табл. 1.

Таблица 1

Результаты испытаний составов ПБВ

Содержание полимера, %	Наименование испытаний					
	Температура размягчения по КиШ, °С	Глубина проникновения иглы, 0,1 мм		Растяжимость, см	Эластичность, %	Температура хрупкости по Фраасу, °С
		при 25 °С	при 0 °С	при 25 °С	при 25 °С	
1	2	3	4	5	6	7
БНД 90/130						
0,0	44,0	106,0	28,0	100,0	0,0	-22
Требования ГОСТ Р 52056-2003 к ПБВ 60						
-	54	60	32	25	80	-20
ПБВ с полимером «Полистирол (ПС) – 525»						
1,0	69,4	35,0	24,0	20,0	35,0	-18,0
2,0	67,0	31,0	22,0	15,0	28,0	-19,0
3,0	70,0	29,0	20,0	10,0	20,0	-19,0
ПБВ с полимером «LG EVA 28400»						
1,0	50,0	60,0	30,0	57,0	50,0	-22,0
2,0	53,0	56,0	26,0	55,0	50,0	-21,0
3,0	54,0	54,0	27,0	39,0	40,0	-22,0
4,0	60,0	54,0	28,0	18,0	43,0	-22,0
ПБВ с полимером «Calprene 501M»						
1,0	49,0	77,0	31,0	65,0	60,0	-21,0
2,0	52,0	68,0	31,0	40,0	73,0	-21,0
3,0	56,0	62,0	32,0	38,0	76,0	-21,0
4,0	61,0	47,0	31,0	38,0	84,0	-21,0
5,0	65,0	49,0	30,0	35,0	89,0	-22,0
ПБВ с полимером «Globalprene 3501»						
1,0	47,0	92,0	32,0	41,0	62,0	-22,0
2,0	52,0	86,0	32,0	39,0	72,0	-22,0
3,0	56,0	78,0	32,0	39,0	78,0	-22,0
4,0	64,0	65,0	31,0	39,0	85,0	-22,0
5,0	67,0	59,0	31,0	38,0	86,0	-23,0
ПБВ с полимером «SBS L 30-01 А»						
1,0	47	95	33,0	49,0	62,0	-23,0
2,0	51	87	32,0	41,0	72,0	-23,0
3,0	54	74	32,0	39,0	78,0	-22,0
4,0	59	66	31,0	36,0	85,0	-22,0
5,0	63	58	31,0	30,0	86,0	-21,0

Подводя итог стоит отметить:

– При добавлении полимеров, относящихся к классу пластомеров, может быть получено сильно структурированное вяжущее, отличающееся повышенной жесткостью и, как следствие, меньшей температурной чувствительностью. Однако теряется технологичность продукта, что ограничивает его использование.

– Полмеры, относящиеся к классу эластомеров, структурируют систему в меньшей степени, сохраняя таким образом физико-механические показатели на уровне, достаточном, чтоб получить продукт, соответствующий требованиям

ГОСТ. Получаемое вяжущее характеризуется высокой эластичностью.

– Полимеры Calprene 501M, Globalprene 3501, SBS L 30-01 А, характеризующиеся рыхлой структурой оказывают «мягкое» структурирующее воздействие на битум. Комплекс показателей, соответствующих ПБВ 60 был получен при содержании полимеров в количестве 3 %.

– Максимальной структурирующей способностью характеризуются полимеры «Полистирол (ПС) – 525» и «LG EVA 28400», с плотной упаковкой макромолекул полимера. Однако используя эти полимеры в интервале варьирования

1–4 % получить ПБВ 60 не удалось. Очевидно эти полимеры, ввиду их высокой структурирующей способности будут эффективны для разработки составов ПБВ40, а также мастичных и гидроизоляционных составов.

Таким образом, применение полимеров типа СБС, на наш взгляд, является технологически более оправданным, а изменение свойств органических вяжущих в процессе модификации предсказуемым.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лаврухин В.П., Калгин Ю.И., Ерофеев В.Т. Усталостная долговечность асфальтобетонных на модифицированных битумах // Вестник Мордовского университета. 2001. №3-4. С. 128–135.
2. Киндеев О.Н., Высоцкая М.А., Шеховцова С.Ю. Влияние вида пластификатора на свойства битума и полимерно-битумных вяжущих // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 1. С. 26–30.
3. Траутвайн А.И., Альтергот А.А. В кн.: Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии материалы международной научно-технической конференции // ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет», 2017. С. 286–287.
4. Дошлов О.И., Спешилов Е.Г. Полимерно-битумное вяжущее – высокотехнологическая основа для асфальта нового поколения // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2013. №6. С. 140–144.
5. Ерофеев В.Т., Баженов Ю.М., Калгин Ю.И. Дорожные битумо-минеральные материалы на основе модифицированных битумов (технология, свойства, долговечность). Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2009. 273 с.
6. Выдрина Т.С. Старение и стабилизация полимеров: метод. указ. для изучения теоретического курса и выполнения лабораторных занятий для студентов очной и заочной форм обучения. Екатеринбург: УГЛУ, 2003. 15 с.
7. Семчиков Ю.Д. Высокомолекулярные соединения: учеб. для вузов. 2-е изд. М.: Издательский центр «Академия», 2005. 368 с.
8. Галдина В.Д. Модифицированные битумы: учеб. пособие. Омск: СибАДИ, 2009. 228 с.
9. Золотарев, В.А. Дорожные битумные вяжущие: учебник для студентов высших учебных заведений. Х.: ХНАДУ, 2014. 180 с.
10. Справочник химика 21. Химия и химическая технология [Электронный ресурс]. Систем. требования: Internet Explorer. URL: <http://chem21.info> (дата обращения: 02.08.2017).
11. Polacco G., Berlincioni S., Biondi D., Stastna J., Zanzotto L. Asphalt modification with different polyethylene-based polymers // EurPolym. 2005. Vol. 41(12). Pp. 2831–44.
12. Attaelmanan M., Cheng PF., AI AH. Laboratory evaluation of HMA with high density polyethylene as a modifier // Constr Build Mater. 2011. Vol. 25(5). Pp. 2764–70.
13. Stastna J., Zanzotto L., Vacin OJ. Viscosity function in polymermodified asphalts // Colloid Interface Sci. 2003. Vol. 259(1). Pp. 200–7.
14. Polacco G., Stastna J., Biondi D, Zanzotto L. Relation between polymer architecture and non-linear viscoelastic behavior of modified asphalts // Curr Opin Colloid Interface Sci. 2006. Vol. 11(4). Pp. 230–45.
15. Lewandowski L.H. Polymer modification of paving asphalt binders // Rubber Chem Technol. 1994. Vol. 67(3) Pp. 447–80.
16. Полимерная модификация битумов (I часть) [Электронный ресурс]. Систем. требования: Internet Explorer. URL: http://www.newchemistry.ru/letter.php?cat_id=8&n_id=2591&page_id=5 (дата обращения: 24.08.2017).
17. Гармонова И.В. Синтетический каучук. Л.: Химия, 1976. 752 с.
18. Аблеев Р.И., Гимаев Р.Н. Термопластичные эластомерные компаунды с повышенной стойкостью к нефтепродуктам [Электронный ресурс]. Систем. требования: Internet Explorer. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/termoplastichnye-elastomernye-kompaundy-s-povyshennoy-stoykostyu-k-nefteproduktam> (дата обращения: 26.08.2017).
19. Сайт компании «РУСПЛАСТ» [Электронный ресурс]. Систем. требования: Internet Explorer. URL: <http://www.rusplast.com> (дата обращения: 05.06.2017).
20. СТО 30136607–002–2014. Модификатор дорожных битумов и асфальтобетонных смесей комплексный "ДОРСО 46-02". Технические условия. введ. 01.09.2014. 20 с.
21. Трофимов В.А. Химия высокомолекулярных соединений: учеб.-метод. пособие для студентов химико-биологического факультета. Нижний Тагил: Нижнетагильская гос. соц.-пед. акад., 2008. 140 с.
22. Реология битумов [Электронный ресурс]. Систем. требования: Internet Explorer. URL: <http://www.dorlab-ltd.ru/informatciya-2/svoystva-neftebitumov/reologiya-bitumov> (дата обращения: 08.07.2017).

*Информация об авторах***Ширяев Артем Олегович**, магистрант

E-mail: rabochayae@mail.ru.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Обухов Александр Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог и аэродромов.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Высоцкая Марина Алексеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог и аэродромов.

E-mail: roruri@rambler.ru.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Шеховцова Светлана Юрьевна, кандидат технических наук, старший преподаватель.

E-mail: rusina-svetlan@ya.ru.

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.

Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26

Поступила в сентябре 2017 г.

© Ширяев А.О., Обухов А.Г., Высоцкая М.А., Шеховцова С.Ю., 2017

Shiryayev A.O., Obukhov A.G., Vysotskaya M.A., Shekhovtsova S.Y.
POLYMER MODIFIERS OF BITUMEN BINDERS

In any industry there comes such a moment, the code of its further development becomes impossible without the use of modern materials and technologies that will allow not only to reduce the price, but also to transfer it to a qualitatively new level. This has contributed to numerous studies around the world aimed at creating new modern materials, including road-building materials, characterized by a combination of effective characteristics of the composites themselves and the operational reliability of the structures made of them. The desire to ensure the durability of road surface coverings in conditions of increasing loads and traffic intensity has caused great popularity of using asphalt mixtures on a polymer-modified binder. In connection with this, the market of polymer materials is constantly expanding, and producers of polymer-bitumen binders, trying to lower the cost of production, without losing high performance characteristics, are interested in the appearance of a large number of cheap polymers that are not inferior in quality to expensive analogues.

Keywords: bitumen, polymer-bitumen binder, polymers.

*Information about the authors***Shiryayev Artem Olegovich**, Master student.

E-mail: rabochayae@mail.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Obukhov Aleksandr Gennadevich, Research assistant

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Vysotskaia Marina Alekseevna, PhD, Assistant professor.

E-mail: roruri@rambler.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Shekhovtsova Svetlana Iurevna, PhD, Senior lecturer.

E-mail: rusina-svetlan@ya.ru

Moscow State University of Civil Engineering.

Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26.

Received in September 2017

© Shiryayev A.O., Obukhov A.G., Vysotskaya M.A., Shekhovtsova S.Y., 2017