

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ



УДК 678.075: 625.7/8: 665.6

РЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ СБС-ПОЛИМЕРОВ В БАЗОВЫХ ПЛАСТИФИКАТОРАХ И ИНДУСТРИАЛЬНЫХ МАСЛАХ

Я.А. Ерохина¹, П.А. Дужий², А.С. Пилипенко³, А.С. Беляков³, К.П. Пашенко⁴,
К.С. Котежов⁵, Д.Ю. Небратенко^{1, 3, 5}

¹ *Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева (г. Москва)*

² *МИРЭА – Российский технологический университет (г. Москва)*

³ *Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет (г. Москва)*

⁴ *Астраханский государственный технический университет (г. Астрахань)*

⁵ *Российский университет транспорта (г. Москва)*

© Ерохина Я.А., Дужий П.А., Пилипенко А.С., Беляков А.Ю.,
Пашенко К.П., Котежов К.С., Небратенко Д.Ю., 2025

Аннотация. Постоянно повышающаяся нагрузка автомобильных дорог и увеличение интенсивности движения грузового транспорта требуют улучшения эксплуатационных показателей битумных вяжущих. Основой таких изменений, оказывающей положительное влияние на целый комплекс параметров итоговых дорожных покрытий, является модификация традиционных битумов СБС-полимерами. В работе рассмотрены основные закономерности набухания бутадиен-стирольных термоэластопластов различного состава и строения в товарных нефтяных пластификаторах, традиционно составляющих от 30 до 60 % в составе смесевых вяжущих. Для проведения испытаний была разработана простая установка по определению изменения эффективного радиуса исследуемых частиц полимера в проходящем солнечном свете с применением прямоугольных кювет из оптического бесцветного стекла К-8 производства компании Hellma. Видеофиксация изображений проводилась при комнатной температуре и атмосферном давлении без перемешивания. Обработка полученных данных происходила в системах AutoCad, 3Ds Max. В качестве СБС-полимеров были рассмотрены линейные марки бутадиен-стирольных термоэластопластов. При этом анализ динамики набухания и последующего растворения термоэластопластов показал, что индустриальное масло И-20 и базовое нефтяное масло SN-150 обладают повышенной совместимостью с СБС-полимерами.

Ключевые слова: СБС-полимеры, базовые масла, набухание бутадиен-стирольных термоэластопластов, битумы нефтяные дорожные, полимерно-битумные вяжущие.

DOI: 10.46573/2658-7459-2025-2-81-93

ВВЕДЕНИЕ

Глобальные климатические изменения и новые стратегические программы развития и освоения северных регионов Российской Федерации постоянно требуют от специалистов, занимающихся дорожным материаловедением, поиска новых вариантов повышения низкотемпературных показателей дорожных вяжущих и, как следствие, увеличения межремонтных сроков автомобильных дорог [1, 2, 3].

Тем не менее, несмотря на осознание и принятие всей сложности многокомпонентных коллоидных систем, каковыми являются традиционные для Российской Федерации окисленные битумы на основе сернистых нефтей [3, 4], достаточно продолжительное время отраслевая наука не обращала должного внимания на необходимость изучения как свойств самих компонентов, входящих в состав органических вяжущих, так и различных процессов деструкции и полимеризации, происходящих в дорожных вяжущих в ходе их переработки, а также при эксплуатации итоговых асфальтобетонных покрытий.

Например, при классификации нефтяных дорожных битумов основной акцент до сих пор делается исключительно на их реологических показателях, а компонентный состав, обеспечивающий получение регламентируемых показателей как исходных вяжущих, так и вяжущих после RTFOT- и PAV-старения [5, 6], не оценивается даже в случае получения из нефтяных дорожных битумов полимерно-битумных вяжущих (ПБВ) [7, 8].

Однако для последнего случая компонентный состав исходного битума имеет решающее значение, поскольку его варьирование позволяет регулировать количество бутadiен-стирольного термоэластопласта (СБС-полимера, БС ТЭП), используемого для модификации [9, 10]. В ходе набухания в битумном вяжущем гранулы СБС-полимера увеличиваются в трех измерениях и, постепенно разбухая, занимают весь доступный объем. Это принципиально изменяет свойства как самих вяжущих, так и полимерасфальтобетонов на их основе. При этом стоит учитывать, что удельная доля термоэластопласта в себестоимости ПБВ приближается к 50 % и оптимизация соотношения «вяжущее / СБС-полимер» становится весьма важной задачей [11, 12]. Правильный выбор пластифицирующих агентов для обеспечения максимального набухания бутadiен-стирольных термоэластопластов необходимо осуществлять для каждой пары «БС ТЭП / углеводородный пластификатор».

На текущий момент возможна оценка качества распределения СБС-полимера по объему ПБВ с помощью ряда методов, наиболее наглядным из которых является так называемый тубный метод [13, 14]. Он заключается в термостатировании рассматриваемого смесового состава в вертикальном положении в алюминиевой трубке при температуре порядка 180 °С в течение трех суток [15]. К сожалению, данный метод также не дает реального представления о взаимодействии компонентов в составе битума (а затем и ПБВ), однако определенным образом учитывает разницу в реологических свойствах многокомпонентных битумных вяжущих и полимерных модификаторов класса БС ТЭП.

При этом в связи с изменением фактической стоимости нефтяных пластификаторов, крупнотоннажно выпускаемых для разных отраслей промышленности и ранее широко применявшихся в дорожном материаловедении для регулирования компонентного состава, все большее внимание на предприятиях, изготавливающих ПБВ, уделяется изучению возможности замещения товарных масел различного рода нетоварными продуктами как

нефтяного, так и растительного происхождения. Однако на текущий момент не существует доступных и воспроизводимых методов оценки растворяющей способности мелкоотварных пластифицирующих агентов.

Именно поэтому в настоящей работе была поставлена задача оценки и изучения взаимодействия жидкой масляной фазы нефтяного битума, моделируемой с использованием базовых и промышленных масел, и нескольких марок линейно-бутадиен-стирольных термоэластопластов отечественного и зарубежного производства, обеспечивающих упруго-прочностные показатели итогового ПБВ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Оценка процесса набухания и последующего растворения СБС-полимеров проводилась с использованием как базовых нефтяных пластификаторов, так и товарных промышленных масел, крупнотоннажно выпускаемых большинством нефтяных компаний в России.

Основными компонентами для изучения являлись базовые масла, производимые на ПАО «Славнефть-Ярославнефтеоргсинтез», марок SN-150, SN-400, а также масло SN-650, изготавливаемое на ПАО АНК «Башнефть» – «Башнефть-Новыйл». Они широко используются в качестве сырья для производства товарных масел различного применения (моторных, промышленных и др.) [16, 17, 18]. Технические показатели приведены в табл. 1.

Таблица 1

Физико-технические показатели базовых масел [16, 17, 18]

Показатель	Метод испытания	Марка базового масла		
		SN-150	SN-400	SN-650
Внешний вид	п. 7.2 СТО 00149765-003-2010	Однородная бесцветная прозрачная жидкость	Однородная желтоватая прозрачная жидкость	Однородная светло-коричневая жидкость
Вязкость кинематическая при 100 °С, мм ² /с	ГОСТ 33-2016	5,400	9,246	13,420
Вязкость кинематическая при 40 °С, мм ² /с	ГОСТ 33-2016	31,400	78,96	–
Индекс вязкости	ГОСТ 25371	106	93	95
Массовая доля воды, %	ГОСТ 2477	Следы	Следы	Следы
Плотность при 15 °С, кг/м ³	ASTM D 4052	869,2	884,2	900
Температура застывания, °С	ГОСТ 20287, метод Б	Минус 16	Минус 16	Минус 16
Температура вспышки в открытом тигле, °С	ГОСТ 4333-2021	213	240	255

Окончание табл. 1

Показатель	Метод испытания	Марка базового масла		
		SN-150	SN-400	SN-650
Содержание механических примесей, %	ГОСТ 6370	Отсутствуют	Отсутствуют	Отсутствуют
Зольность, %	ГОСТ 1461	0,003	0,003	0,003
Цвет на колориметре ЦНТ, ед. ЦНТ	ГОСТ 20281	1,0	2,1	3,1
Массовая доля серы в базовом масле, %	ASTM D4294	0,064	0,120	1,100

Вторая группа пластификаторов представляла собой индустриальные масла, соответствующие ГОСТ 20799-2022 и произведенные ООО «РН-Смазочные материалы» в г. Рязани [19, 20, 21]. Технические показатели приведены в табл. 2.

Таблица 2

Физико-технические показатели индустриальных масел [19, 20, 21]

Показатель	Метод испытания	Марка базового масла		
		И-20А	И-40А	И-50А
Вязкость кинематическая при 100/50/40 °С, мм ² /с	ГОСТ 33-2016	5,396/21,19 /31,39	8,943/49,5 /78,96	11,51/63,49 /104,0
Плотность при 20 °С, кг/м ³	ASTM D 4052	866,0	878,0	881,4
Температура застывания, °С	ГОСТ 20287, метод Б	Минус 18	Минус 16	Минус 15
Температура текучести, °С	ГОСТ 20287, метод А	Минус 15	Минус 15	Минус 12
Температура вспышки в открытом тигле, °С	ГОСТ 4333-2021	216	220	234
Температура самовоспламенения, °С	ГОСТ 12.1.044-89	356	361	364
Цвет на колориметре ЦНТ, ед. ЦНТ	ГОСТ 20281-91	0,5	2,0	3,0

В качестве полимерных модификаторов в работе рассматривались исключительно бутадиен-стирольные термоэластопласты линейного строения. Применение при изготовлении ПБВ именно СБС-полимеров регламентировано требованиями ГОСТ Р 52056-2003 «Вяжущие полимерно-битумные дорожные на основе блоксополимеров типа стирол-бутадиен-стирол. Технические условия», разработанного Федеральным государственным унитарным предприятием «Государственный дорожный научно-исследовательский институт» (ФГУП «СоюзДорНИИ») и действующего на территории Российской Федерации с 1 января 2004 года.

В качестве СБС-полимеров были использованы линейные марки бутадиен-стирольных термоэластопластов отечественного и зарубежного производства, технические показатели которых приведены в табл. 3.

Таблица 3

Физико-химические показатели бутадиен-стирольных термоэластопластов
отечественного и зарубежного производства [22–25]

Наименование показателя	Марки СБС-полимеров			
	ДСТ Л 30-01	Kraton D0243	Kraton D0246	Kraton D1192
Содержание связанного стирола, %	31	30–34	26	30
Содержание 1,2-винил, %	14±2,0	33–37	28–30	48–50
Содержание диблока, %	10±2,0	75±2,0	55±2,0	Менее 10
Средневесовая молекулярная масса M_w , усл. ед.	78–85 тыс.	62–71 тыс.	68–73 тыс.	75–78 тыс.
Полидисперсность M_w/M_n	1,16–1,19	1,10–1,15	1,13–1,15	1,15–1,18
Показатель текучести расплава, 190 °С, 5 кгс, г/10 мин	0–1	18–20	3–4	0–1
Условная прочность при удлинении 300 %, МПа	2,0	1,0	2,0	4,8
Условная прочность при растяжении, МПа	9,6	2,0	2,9	33,0
Относительное удлинение при разрыве, %	650	820	880	1 тыс.
Эластичность по отскоку, %	55	35	45	65

Термоэластопласт линейный бутадиен-стирольный ДСТ Л 30-01 является одним из первых промышленно выпускаемых СБС-полимеров в России (АО «Воронеж-синтезкаучук») и представляет собой продукт блоксополимеризации стирола и бутадиена в растворе углеводородов в присутствии литийорганического катализатора [22]. Он имеет типовую линейную структуру с преобладающим содержанием 1,4-присоединения звеньев в полибутадиеновом блоке, опудрен стеаратом кальция или диоксидом кремния. Содержание стирола не превышает 30 %. Данная марка отличается высоким содержанием трехблочных структур, приближающимся к 90 %, и является наиболее часто используемой при полимерной модификации нефтяных дорожных битумов в соответствии с ГОСТ Р 52056-2003. ДСТ Л 30-01 обладает параметром растворимости, равным $17,8 \text{ МДж}^{0,5}/\text{м}^{1,5}$ и характеризующим влияние полибутадиеновых и полистирольных блоков в составе термоэластопластов [13].

Выпускаемые компанией KratonTM СБС-полимеры хорошо известны широким набором свойств. Например, марка Kraton D0243 характеризуется наличием большого числа диблочных структур (до 75 %) [23], которое для марки Kraton D0246 составляет 55 % [24]. Важно отметить, что у ДСТ Л 30-01 и Kraton D1192 преобладают трехблочные компоненты и количество диблока не превышает 8–10 %. При этом отличительная черта полимера марки Kraton D1192 заключается в большом количестве звеньев 1,2-присоединения – до 48–50 % [25]. Все указанные отличия в составе и строении полимеров будут проявляться при взаимодействии с жидкой масляной фазой битума, для моделирования которой в данном исследовании использованы товарные нефтяные пластификаторы.

В ходе проведения исследовательской части работы было использовано простое по конструкции устройство для непрерывного наблюдения процессов поверхностного поглощения упругоэластичными гранулами СБС-полимеров разных марок

пластификаторов нефтяного происхождения различного состава. Установка представляла собой прямоугольный закрытый контейнер, малая из сторон которого была обращена к естественному источнику солнечного света, проникавшего в него через щелевое отверстие в задней части контейнера. Прямоугольные кюветы К-8, изготовленные из оптического бесцветного стекла, были расположены непосредственно перед щелью (рис. 1).

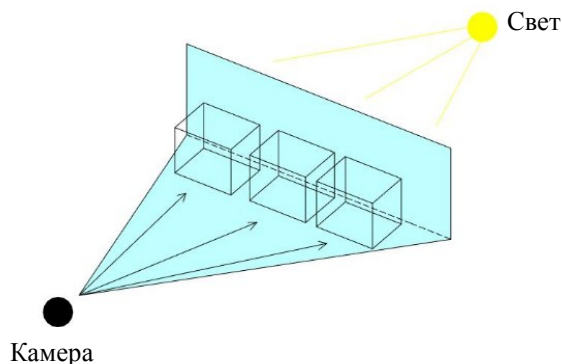


Рис. 1. Схема опытной установки для непрерывного мониторинга поверхностного взаимодействия СБС-полимеров и пластификаторов

В передней части контейнера был закреплен смартфон Samsung GT-I9300I, оснащенный оптической системой с разрешением видеосъемки 1920×1080 пикселей (Full HD). Камерой осуществлялась видеозапись процессов набухания различных типов пластификаторов и марок СБС-полимеров (рис. 2). Обработка полученных изображений происходила с постоянной периодичностью. Процесс проводился в статическом режиме при комнатной температуре и атмосферном давлении. Продолжительность данного этапа мониторинга не превышала 3 сут. После извлечения гетерогенных смесей из контейнера для видеозаписи полученные составы перемещались в бюксы, из которых гранулы полимеров периодически извлекались, просушивались фильтровальной бумагой, а затем фиксировались их геометрические размеры.

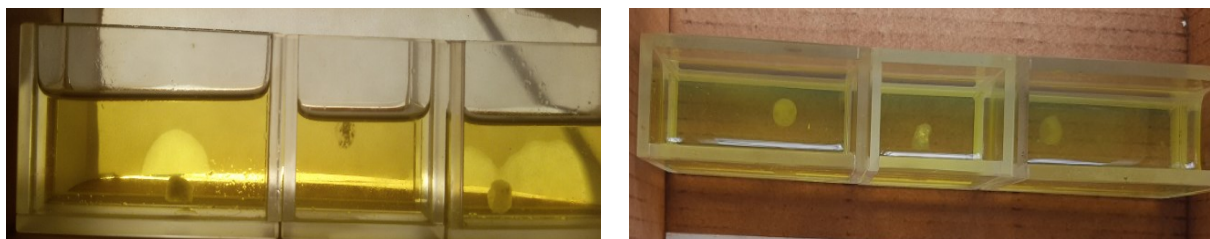


Рис. 2. Первоначальный этап набухания разных марок СБС-полимеров в базовом масле SN-150

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

С целью сопоставления качественных показателей базовых нефтяных пластификаторов и промышленных масел на лабораторном рефрактометре ИРФ-22 с обогревающей головкой было проведено определение показателя преломления в диапазоне температур от 20 до 60 °С. Полученные данные представлены на рис. 3.

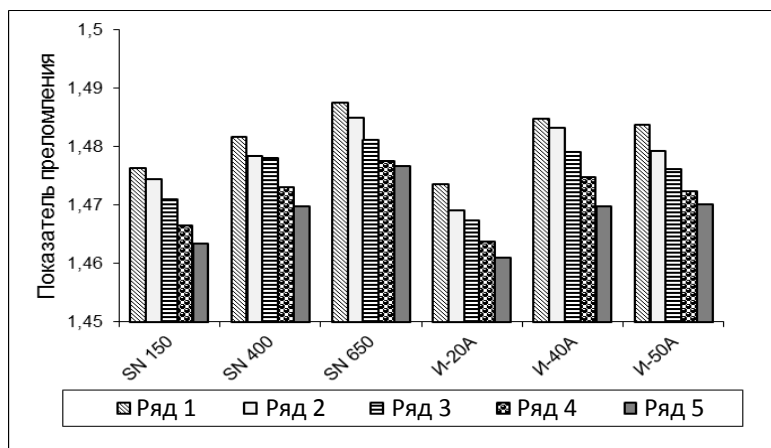


Рис. 3. Температурная динамика показателей преломления базовых и промышленных масел, использованных в исследовании, °С: ряд 1 – 20; ряд 2 – 30; ряд 3 – 40; ряд 4 – 50; ряд 5 – 60

Важно отметить, что динамика изменения показателя преломления для всех рассматриваемых пластифицирующих агентов практически идентична. Показательно, что абсолютные значения, характеризующие компонентный состав масел, крайне близки в парах SN-150/И-20А, SN-400/И-40А, SN-650/И-50А. При этом степень светопропускания и для базовых, и для промышленных масел уменьшается с ростом числа атомов углерода в основной углеводородной цепи пластификатора. На это указывает и изменение светопропускания по ГОСТ 20281-91.

Суммарное время наблюдения набухания по изложенной выше методике не превышало 45–50 сут, поскольку (вне зависимости от вида использованных пластификаторов) в указанный период данный процесс для всех исследованных марок бутадиен-стирольных термоэластопластов стабилизировался.

Сведения о динамике набухания в базовых и промышленных маслах при нормальных условиях представлены на рис. 4 и в табл. 3.

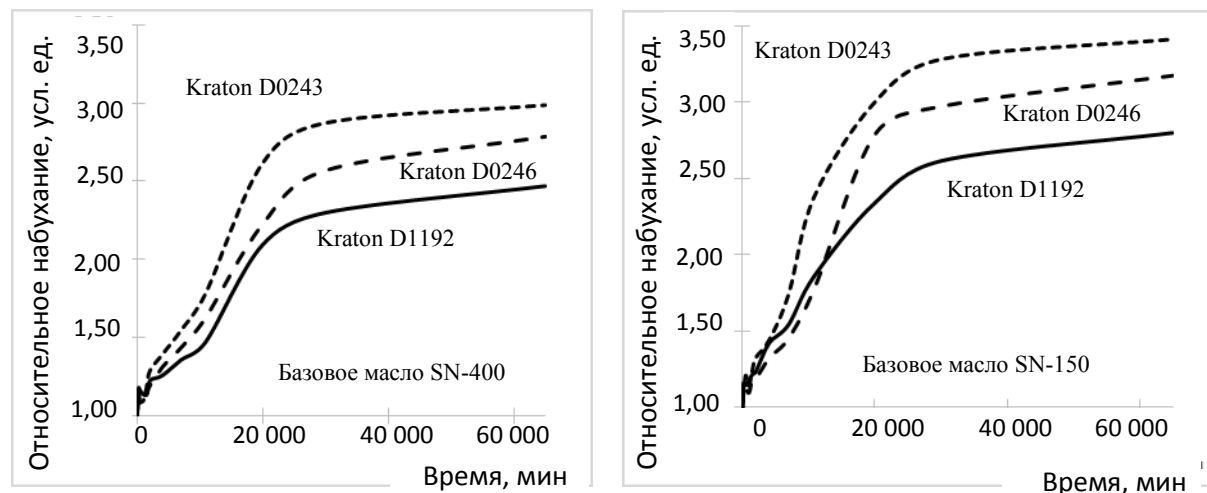


Рис. 4. Динамика набухания СБС-полимеров в базовых маслах

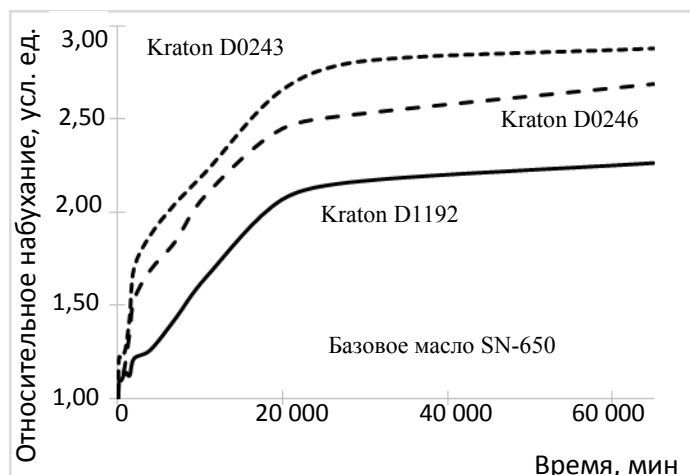


Рис. 4. Продолжение

В рассмотренных базовых маслах все использованные марки СБС-полимеров ведут себя аналогичным образом: в течение первых 10 тыс. мин наблюдается активное набухание гранул БС ТЭП, причем чем больше диблока содержала марка, тем выше ее степень набухания. Однако уже к 20 тыс. мин интенсивность увеличения объема гранул существенно уменьшалась и стабилизировалась к 45–50 сут наблюдений.

Таблица 4

Набухание СБС-полимеров в промышленных маслах И-20А/И-40А/И-50А

Время набухания, мин	Относительное изменение размера частицы полимера, усл. ед.			
	Kraton D0243	Kraton D0246	Kraton D1192	ДСТ Л 30-01
0	1,00/1,00/1,00	1,00/1,00/1,00	1,00/1,00/1,00	1,00/1,00/1,00
60	1,03/1,03/1,00	1,01/1,03/0,89	1,05/1,01/0,85	1,01/1,06/0,98
120	1,03/1,05/1,03	1,03/1,06/0,92	1,00/1,08/0,89	1,05/1,13/1,02
180	1,08/1,04/1,10	1,02/1,10/0,98	1,13/1,08/0,95	1,18/1,13/1,09
240	1,07/1,05/1,15	1,01/1,11/1,02	1,13/1,12/0,99	1,18/1,17/1,14
1 000	1,19/1,06/1,19	1,04/1,08/1,11	1,14/1,08/1,04	1,20/1,13/1,19
2 040	1,30/1,25/1,51	1,13/1,14/1,42	1,20/1,16/1,11	1,26/1,22/1,27
4 020	1,37/1,53/1,58	1,26/1,26/1,57	1,24/1,29/1,15	1,30/1,36/1,32
10 860	2,02/1,87/1,90	1,97/1,46/1,93	1,68/1,59/1,57	1,76/1,67/1,81
19 975	2,68/2,54/2,35	2,65/2,01/2,21	2,23/1,99/1,90	2,50/2,19/2,18
30 055	3,02/2,79/2,45	2,98/2,25/2,35	2,38/2,18/2,00	2,65/2,33/2,30
65 000	3,27/2,90/2,51	3,02/2,57/2,50	2,67/2,35/2,06	2,81/2,63/2,37

Данные табл. 4 подтверждают, что динамика изменения параметрических размеров частиц исследуемых полимеров в промышленных маслах (И-20А, И-40А, И-50А) аналогична показателям, полученным для рассматриваемых СБС-полимеров в базовых маслах (SN-150, SN-400, SN-650). При этом абсолютные значения для базовых

масел несколько выше, чем для индустриальных. Указанное обстоятельство позволяет сделать вывод о преобладающей эффективности базового масла SN-150 для обеспечения набухания БС ТЭП со средневесовой молекулярной массой до 85 тыс. усл. ед.

Тем не менее, учитывая, что процессы асфальтосмещения и укладки полимерасфальтобетонов проводятся при достаточно высоких температурах (порядка 160–180 °С), а летучесть как базовых, так и индустриальных масел с ростом температуры существенно возрастает (см. рис. 3), целесообразно рассматривать в качестве эффективных пластификаторов нефтяные масла марок SN-400 и И-40А. А для оперативной качественной оценки растворяющей способности нетоварных пластификаторов можно рекомендовать простой и доступный лабораторный рефрактометр ИРФ-22.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в представленной работе рассмотрены основные закономерности набухания бутadiен-стирольных термоэластопластов различного состава и строения в товарных нефтяных пластификаторах: базовых и индустриальных маслах. Разработанная опытная установка для непрерывного мониторинга процессов поверхностного взаимодействия СБС-полимеров и пластификаторов позволила зафиксировать процесс набухания в период 45–50 сут. Показано, что в качестве пластифицирующего агента для рассматриваемых в работе марок СБС-полимеров с технологической точки зрения предпочтительной является марка базового масла SN-150 (или индустриальное масло И-20А на его основе), а оптимальным по физико-химическим, реологическим и экономическим параметрам представляется базовое масло SN-400 (или индустриальное масло И-40А на его основе). При подборе компонентного состава ПБВ рекомендовано рассматривать лабораторный рефрактометр ИРФ-22 как средство для оперативной качественной оценки растворяющей способности товарных и нетоварных нефтяных пластификаторов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность ООО «РН-Смазочные материалы» и ООО «СИБУР» за предоставление образцов товарной продукции, использованных в ходе исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Быстров Н.В. Нормирование свойств модифицированных битумов // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2018. Т. 20. № 5. С. 198–203.
2. Гохман Л.М. Дорожный полимерасфальтобетон. М.: Экон-Информ, 2017. 477 с.
3. Обухова С.Ю., Королев Е.В., Гладких В.А. Влияние углеродного наномодификатора на процессы старения полимерно-модифицированных вяжущих. Часть I: Теоретическое исследование // *Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии*. 2023. № 4 (28). С. 6–14.
4. Гуреев А.А., Чернышева Е.А., Коновалов А.А., Кожевникова Ю.В. Производство нефтяных битумов. М.: Нефть и газ, 2007. 102 с.
5. Zuzhong Li, Huijie Liu, Weixi Chen, Yanping Yin, Mengyuan Li, Yuan Li, Zepeng Zhao. Influence of Residual SB Di-block in SBS on the Thermo-oxidative Aging Behaviors of SBS and SBS Modified Asphalt // *Materials and Structures*. 2022. Vol. 55. No. 23. URL: <https://link.springer.com/article/10.1617/s11527-022-01882-3> (дата обращения: 25.06.2025).

6. Durrieu F., Farcas F., Mouillet V. The Influence of UV Aging of a Styrene/Butadiene/Styrene Modified Bitumen: Comparison between Laboratory and On-site Aging // *Fuel*. 2007. Vol. 86. No. 10–11. P. 1446–1451.
7. Дошлов О.И., Спешиллов Е.Г. Полимерно-битумное вяжущее – высокотехнологичная основа для асфальта нового поколения // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2013. № 6. С. 140–144.
8. Балабанов В.Б. Влияние пластификатора на свойства полимерно-битумных вяжущих // *Объединенный научный журнал*. 2006. № 2. С. 66–72.
9. Гохман Л.М. Теоретические основы строения битумов и других органических вяжущих материалов // *Химия и технология топлив и масел*. 1993. № 3. С. 25–28.
10. Гохман Л.М. Расчет состава полимерно-битумного вяжущего // *Наука и техника в дорожной отрасли*. 2008. № 4 (47). С. 33–34.
11. Гужов С.А., Санакулов А.Б., Лебедев В.В., Небрятенко Д.Ю. Эффективность применения полимерно-битумных вяжущих на объектах НП «БКАД» // *Вестник Брянского государственного технического университета*. 2021. № 12 (109). С. 60–68.
12. Берлин А.А., Никольский В.Г., Красоткина И.А., Дударева Т.В., Зверева У.Г., Гордеева И.В., Сорокин А.В., Рожков И.М., Харпаев А.В. Опыт применения стандартов Superpave // *Автомобильные дороги*. 2016. № 3 (1012). С. 73–80.
13. Братчун В.И., Загородняя А.В., Беспалов В.Л., Ромасюк Е.А. О комплексной модификации микроструктуры асфальтобетона дивинил-стирольным термоэластопластом // *Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры*. 2020. № 1 (141). С. 5–16.
14. Загородняя А.В. Методика исследования стабильности битумополимерных вяжущих при хранении // *Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры*. 2021. № 1 (147). С. 68–73.
15. ГОСТ EN 13399-2013. Битумы и битуминозные вяжущие. Определение стабильности модифицированных битумов при хранении. М.: Стандартинформ, 2014. 5 с.
16. Масло SN-150. URL: <https://tnh16.ru/storage/productions/October2023/obu90WzM9npF3OkTclIL.pdf> (дата обращения: 25.06.2025).
17. Масло SN-400. URL: <https://tnh16.ru/storage/productions/October2023/0aMBo9DaW73HkI622pvJ.pdf> (дата обращения: 25.06.2025).
18. Масло SN-650. URL: https://static.insales-cdn.com/files/1/7803/31260283/original/Техническое_описание_базового_масла_SN-650_Башнефть.pdf (дата обращения: 25.06.2025).
19. Индустриальное масло И-20А. URL: <https://rosneft-lubricants.ru/products/i-20a.html#Масла%20индустриальные%20И%20предста> (дата обращения: 25.06.2025).
20. Индустриальное масло И-40А. URL: <https://rosneft-lubricants.ru/products/i-40a.html#Масла%20индустриальные%20И%20предста> (дата обращения: 25.06.2025).
21. Индустриальное масло И-50А. URL: <https://rosneft-lubricants.ru/products/i-50a.html#Масла%20индустриальные%20И%20предста> (дата обращения: 25.06.2025).
22. TDS_ДСТ_Л30-01. URL: https://shop.sibur.ru/catalog/termoelastoplasty_butadien_stirolnye/lineynaya_struktura/lineynaya_struktura_poroshok/dst_1_30_01_poroshok_gofrokonteyner_883805/ (дата обращения: 15.06.2025).
23. Technical Specification K0552 Europe for KRATONTM D0243 E Polymer. URL: <https://kraton.com/wp-content/uploads/2024/06/kratond0243e.pdf> (дата обращения: 15.07.2025).

24. Technical Specification K0622 Europe for KRATON™ D0246 E Polymer. URL: <https://kraton.com/products/kraton-d/> (дата обращения: 15.07.2025).
25. Technical Specification K0523 Europe for KRATON™ D1192 E Polymer. URL: <https://sds.kraton.com/product-sds/shared-files/94711/KratonD1192E.pdf> (дата обращения: 15.07.2025).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ЕРОХИНА Яна Александровна – студентка, ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», 125047, г. Москва, Миусская площадь, д. 9, стр. 1. E-mail: yana021200erokhina@gmail.com

ДУЖИЙ Павел Александрович – студент, ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет», 119454, г. Москва, пр-т Вернадского, д. 78. E-mail: bnmd00@yandex.ru

ПИЛИПЕНКО Антон Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры строительного материаловедения, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, Российская Федерация, Москва, Ярославское шоссе, д. 26. E-mail: pilipenko.ans@gmail.com

БЕЛЯКОВ Артем Юрьевич – студент, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, Российская Федерация, Москва, Ярославское шоссе, д. 26. E-mail: belakovv.artem@yandex.ru

ПАЩЕНКО Константин Петрович – кандидат химических наук, доцент кафедры химии, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, стр. 16/1. E-mail: kpp@rambler.ru

КОТЕЖОВ Кирилл Сергеевич – студент, ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», 127055, г. Москва, ул. Образцова, д. 9. E-mail: kirill_K@mail.ru

НЕБРАТЕНКО Дмитрий Юрьевич – доцент кафедры химии и технологии высокомолекулярных соединений, ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», 125047, г. Москва, Миусская площадь, д. 9, стр. 1; доцент кафедры строительного материаловедения, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; кандидат химических наук, доцент кафедры автомобильных дорог, аэродромов, оснований и фундаментов, ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», 127055, г. Москва, ул. Образцова, д. 9. E-mail: nebratenko@mail.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Ерохина Я.А., Дужий П.А., Пилипенко А.С., Беляков А.Ю., Пашенко К.П., Котежов К.С., Небратенко Д.Ю. Реологическое поведение СБС-полимеров в базовых пластификаторах и промышленных маслах // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2025. № 2 (26). С. 81–93.

**RHEOLOGICAL BEHAVIOR OF SBS POLYMERS
IN BASE PLASTICIZERS AND INDUSTRIAL OILS**

**Ya.A. Erokhina¹, P.A. Duzhy², A.S. Pilipenko³, A.Yu. Belyakov³, K.P. Pashchenko⁴,
K.S. Kotezhov⁵, D.Yu. Nebratenko^{1,3,5}**

¹ *Mendeleev Russian University of Chemical Technology (Moscow)*

² *MIREA – Russian Technological University (Moscow)*

³ *National Research Moscow State University of Civil Engineering (Moscow)*

⁴ *Astrakhan State Technical University (Astrakhan)*

⁵ *Russian University of Transport (Moscow)*

Abstract. The constantly increasing load on highways and the increase in cargo capacity require improved performance of bitumen binders. The basis of such changes, which has a positive effect on a whole range of parameters of the final road surfaces, is the modification of traditional bitumen with SBS polymers. The paper considers the main patterns of swelling of styrene-butadiene thermoplastics of various compositions and structures in commercial and non-commercial petroleum and vegetable plasticizers, which make up from 30 to 60 % of the composition of mixed binders. To carry out the tests, a simple installation was developed to determine the change in the effective radius of the polymer particles under study in passing sunlight using rectangular cuvettes made of optical colorless glass K-8 manufactured by Hellma. The images were videotaped at room temperature and atmospheric pressure without stirring. The received data was processed in the AutoCAD, 3Ds Max system. Linear and radial grades of styrene butadiene thermoplastics of domestic and foreign production were considered as SBS polymers. The duration of observations did not exceed 45 days, because, regardless of the type of plasticizers used, during this period all brands of styrene-butadiene thermoplastics completely spontaneously dissolved, and their outer diameter was not recorded by optics with a video resolution of 1920 × 1080 pixels. At the same time, an analysis of the dynamics of swelling and subsequent dissolution of thermoplastics showed that light tallow oil, a wood processing product, has increased compatibility with SBS polymers with a double solubility parameter characterizing polybutadiene and polystyrene blocks in thermoplastics.

Keywords: SBS polymers, industrial and base oils, polymer swelling, petroleum road bitumen, polymer-bitumen binders.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

EROKHINA Yana Alexandrovna – Student, D.I. Mendeleev Russian University of Chemical Technology, 9, Miusskaya square, Moscow, 125047, Russia. E-mail: yana021200erokhina@gmail.com

DUZHY Pavel Alexanrovich – Student, MIREA – Russian Technological University, 78, Vernadsky avenue, Moscow, 119454, Russia. E-mail: bnmd00@yandex.ru

PILIPENKO Anton Sergeevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Building Materials Science, National Research Moscow State University of Civil Engineering, 26, Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russia. E-mail: pilipenko.ans@gmail.com

BELYAKOV Artem Yurievich – Bachelor's Student, National Research Moscow State University of Civil Engineering. 26, Yaroslavskoye shosse, Moscow, 129337, Russia. E-mail: belakovv.artem@yandex.ru

PASHCHENKO Konstantin Petrovich – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Chemistry, Astrakhan State Technical University, 16/1, Tatishcheva street, Astrakhan, 414056, Russia. E-mail: kpp@rambler.ru

KOTEZHOV Kirill Sergeevich – Student, Russian University of Transport, 9, Obraztsova street 127055, Moscow, Russia. E-mail: kirill_K@mail.ru

NEBRATENKO Dmitry Yurievich – Associate Professor of the Department of Chemistry and Technology of High-Molecular Compounds, D.I. Mendeleev Russian University of Chemical Technology, 9, Miusskaya square, Moscow, 125047, Russia; Associate Professor of the Department of Building Materials Science, National Research Moscow State University of Civil Engineering, 26, Yaroslavskoye shosse, Moscow, 129337, Russia; Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Highways, Airfields, Bases and Foundations, Russian University of Transport, 9, Obraztsova street, 127055, Moscow, Russia. E-mail: nebratenko@mail.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Erokhina Ya.A., Duzhy P.A., Pilipenko A.S., Belyakov A.Yu., Paschenko K.P., Kotov K.S., Nebratenko D.Yu. Rheological behavior of SBS polymers in base plasticizers and industrial oils // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2025. No. 2 (26). pp. 81–93.

УДК 66.094.94, 577.114.4

ГИДРОЛИЗ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОЛИСАХАРИДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛИМЕРНОГО ТВЕРДОГО КИСЛОТНОГО КАТАЛИЗАТОРА

**Л.Д. Панскова, Е.П. Гаврилова, О.В. Манаенков,
О.В. Кислица, М.Г. Сульман**

Тверской государственный технический университет (г. Тверь)

© Панскова Л.Д., Гаврилова Е.П., Манаенков О.В.,
Кислица О.В., Сульман М.Г., 2025

Аннотация. В статье рассмотрены полисахариды растений – одни из самых распространенных природных биополимеров, представляющих большой интерес в качестве сырья для получения востребованных моносахаридов: глюкозы, фруктозы, ксилозы. Наиболее перспективными и доступными полисахаридами являются целлюлоза, инулин и гемицеллюлоза, получаемые из растительной биомассы. Распространенным процессом переработки растительных полисахаридов до сахаров выступает кислотный гидролиз, в котором участвуют минеральные кислоты, однако их применение сопряжено с рядом существенных недостатков: коррозией оборудования, необходимостью утилизации и т.п. В связи с этим наиболее многообещающими представляются твердые кислотные катализаторы. Их использование существенно упрощает и универсализирует технологический процесс, позволяя применять его в более широком диапазоне реакций; в отличие от жидких, твердые катализаторы часто поддаются регенерации, что уменьшает