



Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: www.unistroy.spbstu.ru



doi: 10.18720/CUBS.87.3

Стирол-бутадиен-стирольные полимеры для автодорожного строительства в Российской Федерации

Styrene-butadiene-styrene polymers for road construction in the Russian Federation

Русаков М.Н.¹, Исмаилов А.М.^{1**}

Rusakov M.N.¹, Ismailov A.M.^{1**}

¹ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

¹ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Стирол-бутадиен-стирол;
полимерно-битумное вяжущее;
битум нефтяной дорожный;
модификатор;
импортозамещение;
строительные материалы;
автомобильные дороги

KEYWORDS

Styrene-butadiene-styrene;
polymer-bitumen binder;
road oil bitumen;
modifier;
import substitution;
building materials;
roads.

АННОТАЦИЯ

Объектом исследования являются стирол-бутадиен-стирольные полимеры. В данной статье рассмотрены основные свойства полимерно-битумных вяжущих с добавлением немецких, южнокорейских, шведских и российских СБС-полимеров. Проведено сравнение свойств данных материалов. Определена возможность импортозамещения зарубежных модификаторов российскими для Российской Федерации.

ABSTRACT

The object of the research are styrene-butadiene-styrene polymers. This article discusses the main properties of polymer-bitumen binders with the addition of German, South Korean, Swedish and Russian SBS polymers. The properties of these materials are compared. The possibility of import substitution of foreign modifiers by Russian ones for the Russian Federation is determined.

1 Введение

В настоящее время, в связи с ростом использования полимерно-битумных вяжущих (ПБВ) в странах Европы, Азии и США, производство ПБВ становится все более перспективным. Более развитым направлением в этой сфере сейчас является Азиатско-Тихоокеанское – ему принадлежат большинство самых быстрорастущих рынков полимерно-модифицированных битумов. На данный момент к одним из самых крупных производителей полимерно-битумных вяжущих в мире относятся «LG Chem Ltd», «LG LUPRENE» и «Kraton Polymers».

Потребность в производстве ПБВ связана с увеличением интенсивности движения и ростом нагрузок на дорожное покрытие, а также специфическими условиями эксплуатации объектов дорожного строительства в различных климатических условиях. Применение полимерно-битумного вяжущего характеризуется рядом преимуществ перед применением обычного дорожного нефтяного битума. Например, ПБВ имеет более высокую эластичность, более широкий интервал пластичности, улучшенные низкотемпературные свойства. С помощью данного продукта возможно увеличить срок службы асфальтобетонных покрытий, что является необходимым для поддержания хорошего состояния автодорог и предотвращения их преждевременного разрушения.

Исходя из указанных причин возникает необходимость производить российские продукты, создавая высококачественное российское ПБВ.

В связи с большой востребованностью ПБВ, исследованием технических характеристик данного продукта занимаются во многих странах. Например, Changjiang Kou, Davis, F.G., Gabriela, C.C., Hussein, H. K., Khamad, R., Suleiman, A.Y., Xiaohu Lu, Zhuangzhuang Liu [1-8], а также Амирбаев Е.Д., Андреев А.А., Гавер С.В., Гарипов Р.Р., Гладий Е.А., Давлятова Д.Ю., Золотарев В.А., Исмаилов А.М., Коваленко П.В., Лазарева

Т.Л., Обухов А.Г., Овчинников И.Г., Рыбачук Н.А., Сальникова А.И., Телтаев Б.Б., Траутвайн А.И., Урчева Ю.А., Ярмолинская Н.И., Кременецкая Е.В., Высоцкая М.А. [9-36]. Однако среди работ специалистов по данной теме материалов, посвященных импортозамещению, достаточно скромное количество, чтобы данный вопрос оставался открытым к изучению.

Задаваясь вопросом сравнения свойств битумных вяжущих, можно рассмотреть научные работы профессора Казахстанского дорожного научно-исследовательского института Телтаева_Б.Б. [25-27]. Согласно его исследованиям, у битумных вяжущих с добавлением полимеров по сравнению с исходным БНД меньше понижается высокотемпературная устойчивость после старения [25], больше увеличивается жесткость при уменьшении температуры [26], а также по результатам его испытаний было определено, что асфальтобетоны с полимерными добавками более устойчивы к низкотемпературным трещинообразованиям по сравнению с асфальтобетоном без добавок [27]. Такие результаты показывают преимущество полимерно-битумных вяжущих над обычными нефтяными битумами и дают перспективу проведения исследований в данном направлении.

В настоящее время одним из крупных отечественных производителей является «SIBUR International».

Целью данной работы является рассмотрение свойств полимерно-битумных вяжущих с добавлением стирол-бутадиен-стирольных полимеров (СБС-полимеров), производимых в разных странах, и сравнение их с существующими российскими СБС-полимерами с возможностью импортозамещения.

2 Методы

Для сравнения немецких, южнокорейских, шведских и российских СБС-полимеров к битуму было проведено 3 испытания. При данных испытаниях проверялись свойства полимерно-битумных вяжущих с добавлением полимеров фирм «Kraton Polymers» (Германия, Швеция), «LG Luprene» (Южная Корея), «LG Chemical Ltd» (Южная Корея) и ОАО «АК Сибур» (Россия). Полимерно-битумное вяжущее, используемое при данных испытаниях, произведено в соответствии с ГОСТ Р 52056-2003 и ГОСТ 22245-90 [37-38] и обладает свойствами, подходящими для Северо-западной части России.

В испытании 1 проводилось сравнение ПБВ с содержанием рассматриваемых СБС-полимеров 3,5% и 4% на такие свойства, как:

1. Глубина проникания иглы, 0,1 мм при 25 °С
2. Растяжимость при 25 °С
3. Температура размягчения по кольцу и шару
4. Температура хрупкости по Фраасу
5. Эластичность при 25 °С

В испытании 2 проводилось сравнение ПБВ с содержанием рассматриваемых СБС-полимеров 3%, 3,5% и 4% на такие свойства, как:

1. Глубина проникания иглы, 0,1 мм при 25 °С и при 0 °С
2. Растяжимость при 25 °С и при 0 °С
3. Температура размягчения по кольцу и шару
4. Температура хрупкости по Фраасу
5. Эластичность при 25 °С и при 0 °С

В испытании 3 проводилось сравнение ПБВ с добавлением рассматриваемых СБС-полимеров на такие свойства, как:

1. Глубина проникания иглы, 0,1 мм
2. Температура размягчения по кольцу и шару

Испытания №1:

При данном сравнении полимерно-битумных вяжущих были использованы СБС-полимеры следующих марок: Kraton D 1101 (Kraton Polymers, Германия), Kraton DT 1101 CS (Kraton Polymers Германия), Luprene LG 501 (LG Luprene, Южная Корея), LG 501 LG (Chemical Ltd, Южная Корея), LG 512 LG (Chemical Ltd, Южная Корея), ДСТ 30-01 (ОАО «АК Сибур», Россия).

Для испытаний были подготовлены шесть партий образцов ПБВ, по два образца на каждый модификатор – с содержанием полимера 4% и 3,5%. Полимерно-битумное вяжущее было изготовлено марки ПБВ-60, являющееся подходящим под климатические условия Северо-западной части России. Для приготовления ПБВ использовался битум марки БНД 60/90 [26].

Результаты испытаний приведены в таблицах №1 и №2.

Таблица 1. Свойства ПБВ-60 с содержанием полимера 4%
Table 1. Properties of PMB-60 with a polymer content of 4%

Использованный модификатор	Глубина проникания иглы, 0,1 мм, при 25 ОС	Растяжимость, см, при 25 ОС	Температура размягчения по кольцу и шару, ОС:	Температура хрупкости по Фраасу, ОС	Эластичность, %, при 25 ОС
ГОСТ 22245-90	61 – 90	Не менее 55	Не ниже 47	Не выше -15	0
БНД 60/90	61	65	49	-11	0
ГОСТ Р 52056-2003	60 – 90	Не менее 55	Не ниже 54	Не выше -20	Не менее 80
Kraton D 1101 (Kraton Polymers)	65	62	75,3	-21	91
Kraton DT 1101 CS (Kraton Polymers)	62	56	61	-25	85
Luprene LG 501 (LG Luprene)	63	60	63	-24	85
LG 501 LG (LG Chem Ltd)	62	78,7	77,5	-22,3	85
LG 512 LG (LG Chem Ltd)	66	68,8	79,2	-21,5	89
Сибур ДСТ 30-01 (ОАО «АК Сибур»)	66	69	77,3	-20,1	90

Таблица 2. Свойства ПБВ-60 с содержанием полимера 3,5%
Table 2. Properties of PMB-60 with a polymer content of 3.5%

Использованный модификатор	Глубина проникания иглы, 0,1 мм, при 25 ОС	Растяжимость, см, при 25 ОС	Температура размягчения по кольцу и шару, ОС:	Температура хрупкости по Фраасу, ОС	Эластичность, %, при 25 ОС
ГОСТ 22245-90	61 – 90	Не менее 55	Не ниже 47	Не выше -15	0
БНД 60/90	61	65	49	-11	0
ГОСТ Р 52056-2003	60 – 90	Не менее 55	Не ниже 54	Не выше -20	Не менее 80
Kraton D 1101 (Kraton Polymers)	83	68	73,8	-20,5	83
Kraton DT 1101 CS (Kraton Polymers)	75	85	59	-23,6	82
Luprene LG 501 (LG Luprene)	79	83,6	60	-23	82
LG 501 LG (LG Chem Ltd)	70	78,8	70,5	-21	81
LG 512 LG (LG Chem Ltd)	63	76,3	69,8	-20,5	84
Сибур ДСТ 30-01 (ОАО «АК Сибур»)	73	69,5	65	-20	80

Испытания №2:

При данном сравнении полимерно-битумных вяжущих были использованы СБС-полимеры следующих марок: SBS-LG 501 (Chemical Ltd, Южная Корея), Kraton D1185 (Kraton Polymers Швеция), ДСТ 30-01 (ОАО «АК Сибур», Россия), ДСТ 30Р-01 (ОАО «АК Сибур», Россия).

Для испытаний были подготовлены четыре партии образцов ПБВ, по пять образцов на каждый модификатор – с содержанием полимера 3%, 3,5% и 4%. Битумное вяжущее было изготовлено марки ПБВ-60, являющееся подходящим под климатические условия Северо-западной части России. Для приготовления ПБВ использовался битум марки БНД 60/90 [18, 19].

Результаты испытаний приведены в таблице №3.

Таблица 3. Свойства ПБВ-60 в зависимости от концентрации полимера
Table 3. Properties of PMB-60 depending on polymer concentration

Используемый модификатор	Концентрация полимера, %	Глубина проникновения иглы 0,1 мм, при температуре, ОС:		Растяжимость, см, при температуре, ОС:		Температура размягчения по кольцу и шару, ОС:	Температура хрупкости по Фраасу, ОС:	Эластичность, %, при температуре, ОС:	
		25	0	25	0			25	0
ГОСТ 22245-90	–	61 – 90	Не менее 20	Не менее 55	Не менее 3,5	Не ниже 47	Не выше -15	0	0
БНД 60/90	0	61	28	65	3,8	49	-11	0	0
ГОСТ Р 52056-2003	–	60 – 90	Не менее 32	Не менее 55	Не менее 11	Не ниже 54	Не выше -20	Не менее 80	Не менее 70
Kraton D1185	3	78	44	74	45	64	-34	90	85
	3,5	77	41	75	48	65	-35	90	85
	4	75	36	77	53	68	-36	91	87
SBS-LG 501	3	85	45	71	45	61	-32	88	83
	3,5	80	43	71	47	62	-33	89	84
	4	73	39	69	51	66	-35	90	86
ДСТ 30-01	3	87	50	57	31	55	-29	85	80
	3,5	82	48	56	31	55	-30	85	81
	4	74	44	55	32	57	-32	86	82
ДСТ 30Р-01	3	80	47	57	35	62	-31	86	81
	3,5	77	44	59	38	64	-32	86	82
	4	71	39	62	41	69	-34	87	84

Испытания №3:

При данном сравнении полимерно-битумных вяжущих были использованы СБС-полимеры следующих марок: Kraton D 1101 (Kraton Polymers, Германия), LG 411 W (Chemical Ltd, Южная Корея), ДСТ 30-01-В (ОАО «АК Сибур», Россия), ДСТ 30-01-Л (ОАО «АК Сибур», Россия), ДСТ 30-01-Р (ОАО «АК Сибур», Россия).

Для испытаний были подготовлены пять партий образцов ПБВ – с содержанием полимера 3,8%. Битумное вяжущее было изготовлено марки ПБВ-60, являющееся подходящим под климатические условия Северо-западной части России. Для приготовления ПБВ использовался битум марки БНД 60/90 [11].

Результаты испытаний приведены в таблице №4.

Таблица 4. Свойства ПБВ-60 с содержанием полимера 3,8%
 Table 4. Properties of PMB-60 with a polymer content of 3.8%

Использованный модификатор	Глубина проникания иглы, 0,1 мм, при 25 °С	Температура размягчения по кольцу и шару, °С:
ГОСТ 22245-90	61 – 90	Не ниже 47
БНД 60/90	61	49
ГОСТ Р 52056-2003	60 – 90	Не ниже 54
Kraton D 1101	81	58
LG 411 W	73	61
ДСТ 30-01-В	63	58
ДСТ 30-01-Л	61	62
ДСТ 30-01-Р	67	59

3 Результаты и обсуждение

Сравнение результатов испытания 1 при разных концентрациях представлены на рисунках 1-5:

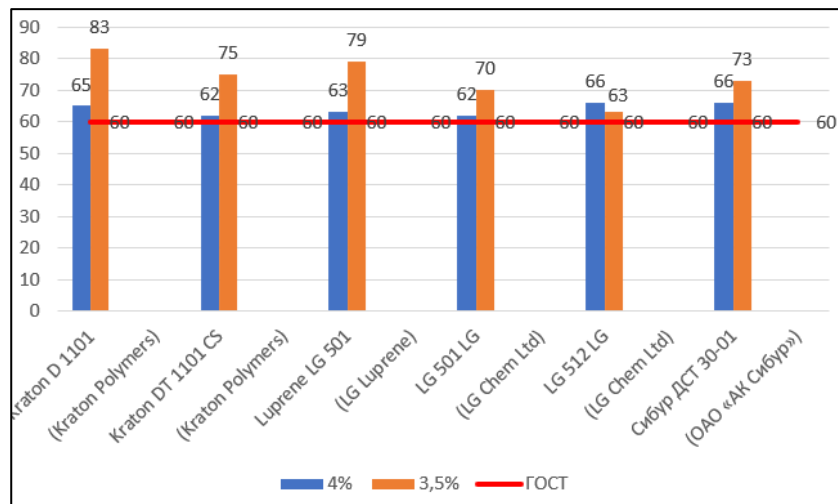


Рисунок 1. Глубина проникания иглы, 0,1 мм при 25°C
 Figure 1. The depth of penetration of the needle, 0.1 mm at 25 °C

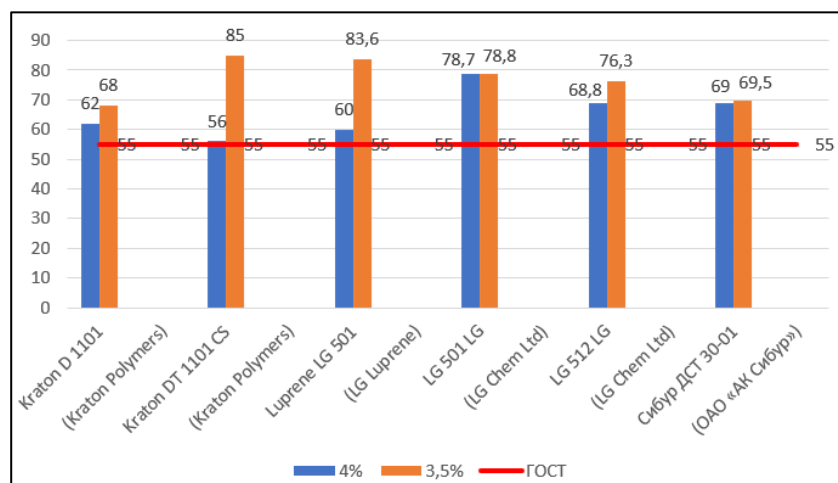


Рисунок 2. Растяжимость, см, при 25°C
 Figure 2. Elongation, cm, at 25°C

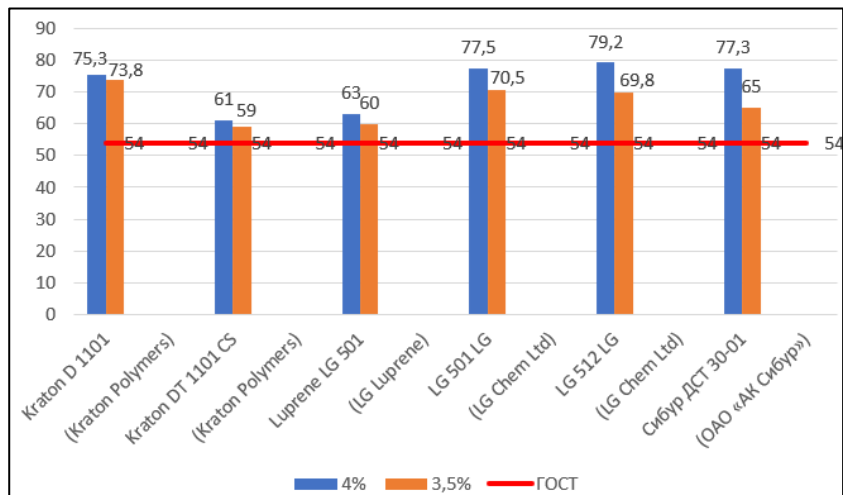


Рисунок 3. Температура размягчения по кольцу и шару
Figure 3. Softening temperature along the ring and ball

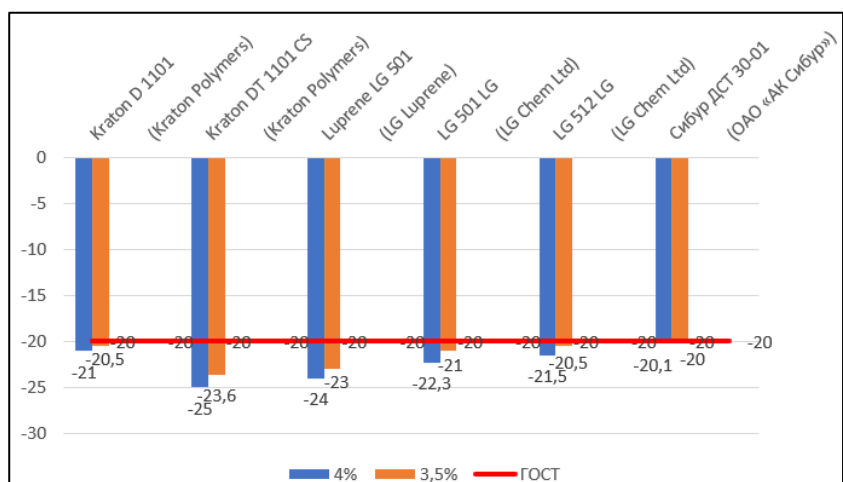


Рисунок 4. Температура хрупкости по Фраасу
Figure 4. Fraas fragility temperature

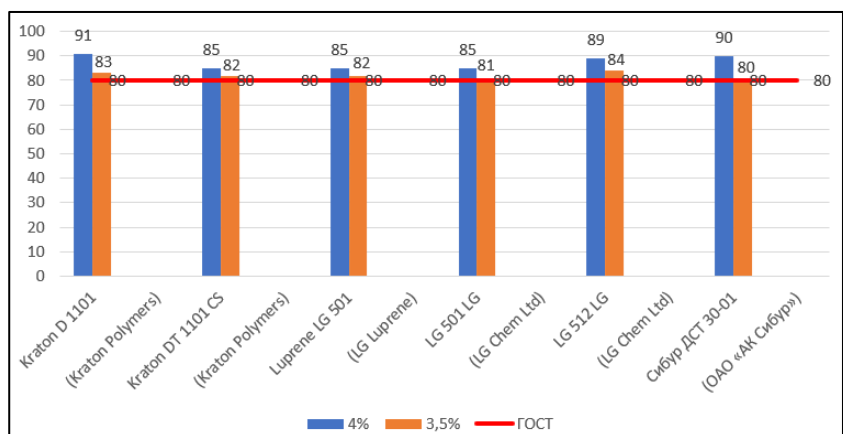


Рисунок 5. Эластичность, %, при 25°C
Figure 5. Elasticity, %, at 25°C

Сравнение результатов испытания 2 при разных концентрациях представлены на рисунках 6-13:

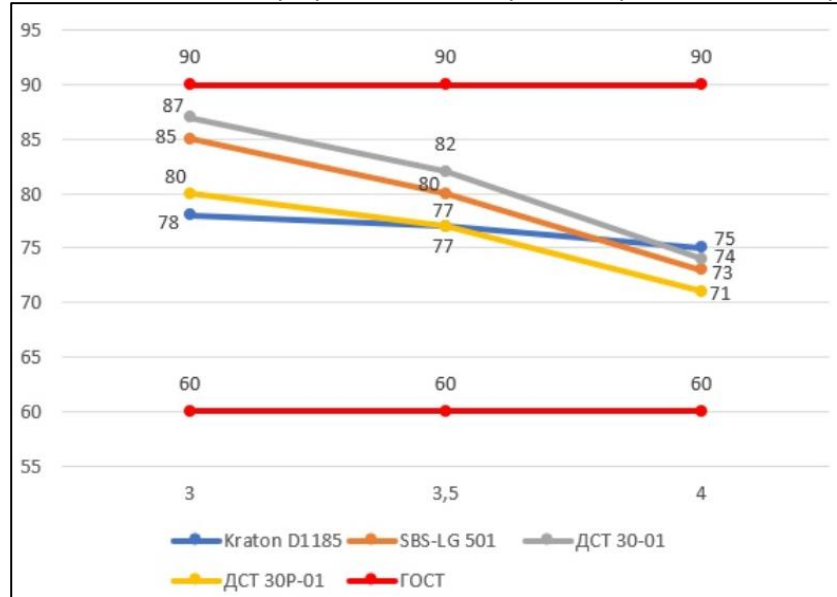


Рисунок 6. Глубина проникания иглы, 0,1 мм при 25°C
Figure 6. Needle penetration depth, 0.1 mm at 25 ° C

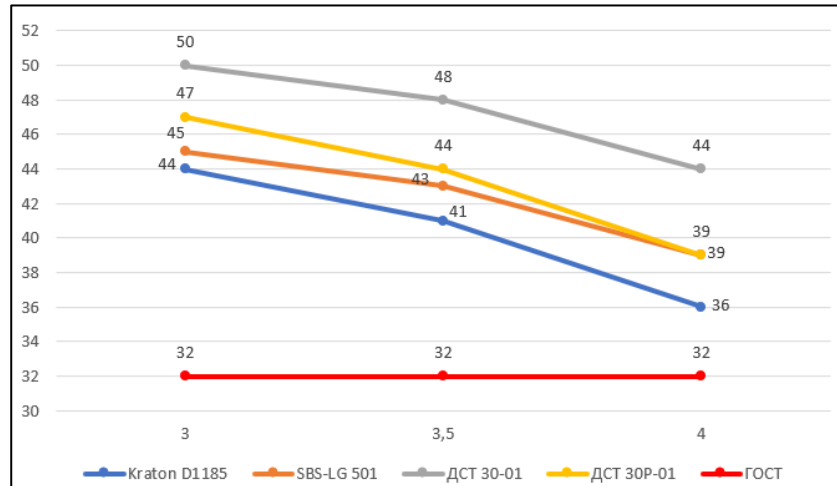


Рисунок 7. Глубина проникания иглы, 0,1 мм при 0°C
Figure 7. Needle penetration depth, 0.1 mm at 0 ° C

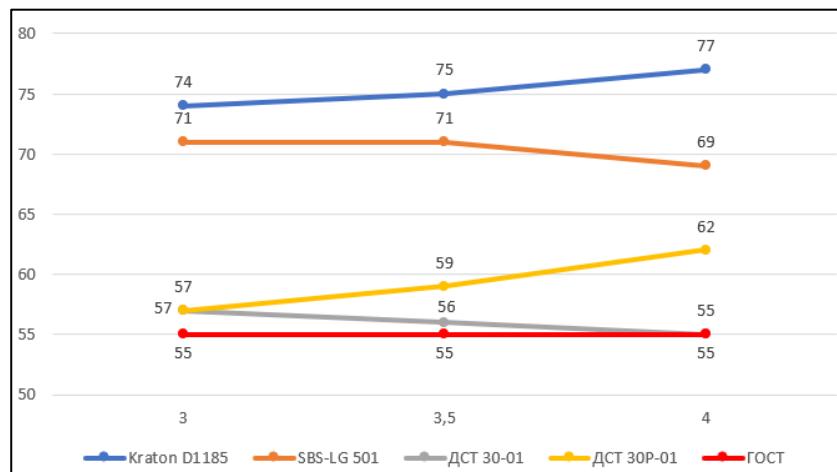


Рисунок 8. Растяжимость, см, при 25°C
Figure 8. Elongation, cm, at 25°C

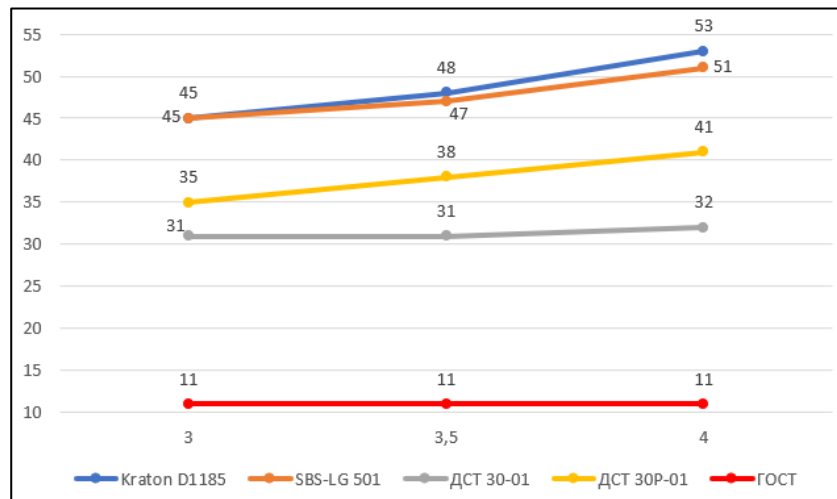


Рисунок 9. Растяжимость, см, при 0°C
Figure 9. Elongation, cm, at 0°C

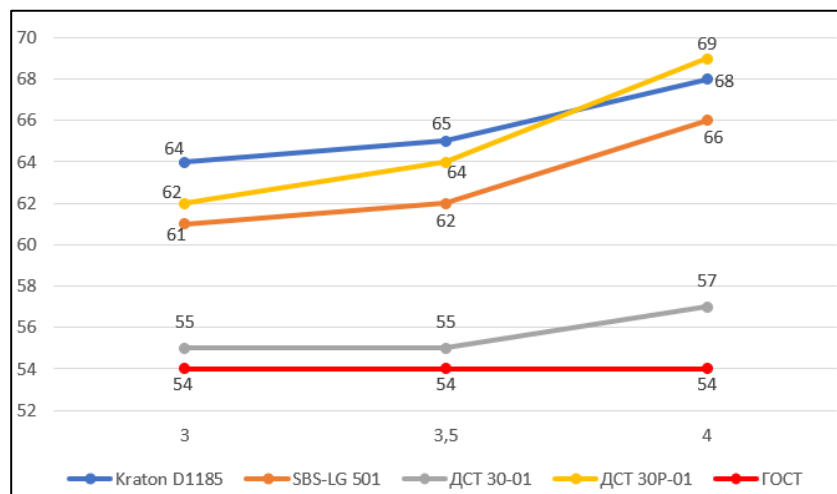


Рисунок 10. Температура размягчения по кольцу и шару
Figure 10. Softening temperature along the ring and ball

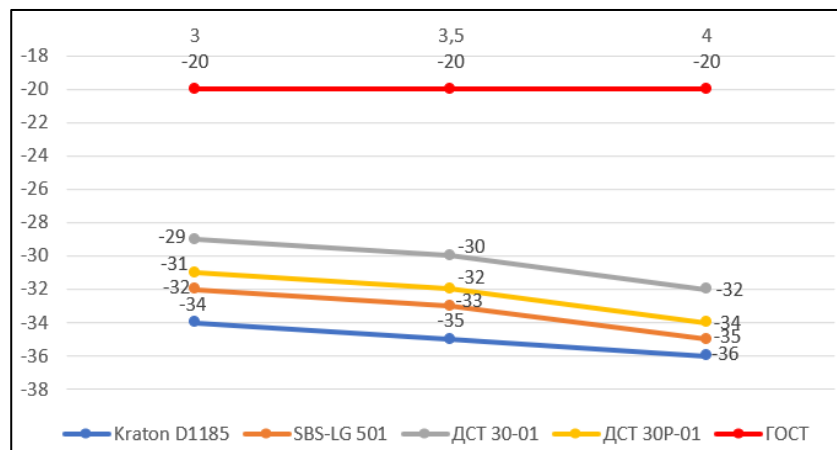


Рисунок 11. Температура хрупкости по Фраусу
Figure 11. Fraas fragility temperature

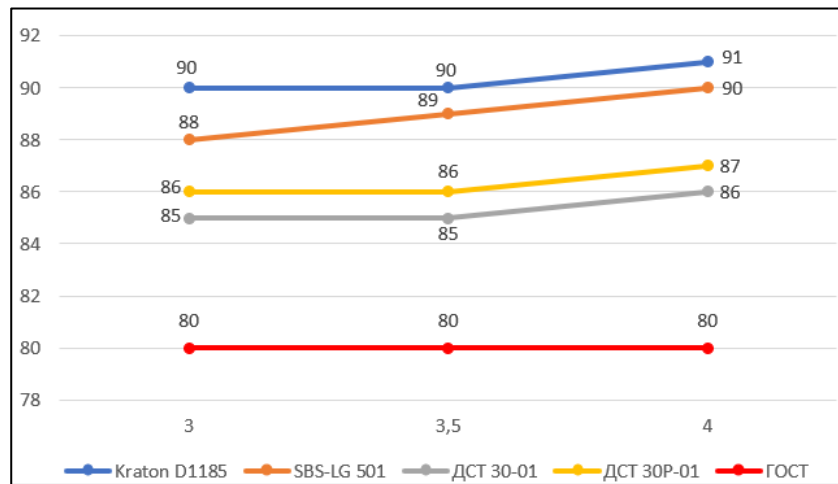


Рисунок 12. Эластичность, %, при 25°C
Figure 12. Elasticity, %, at 25°C

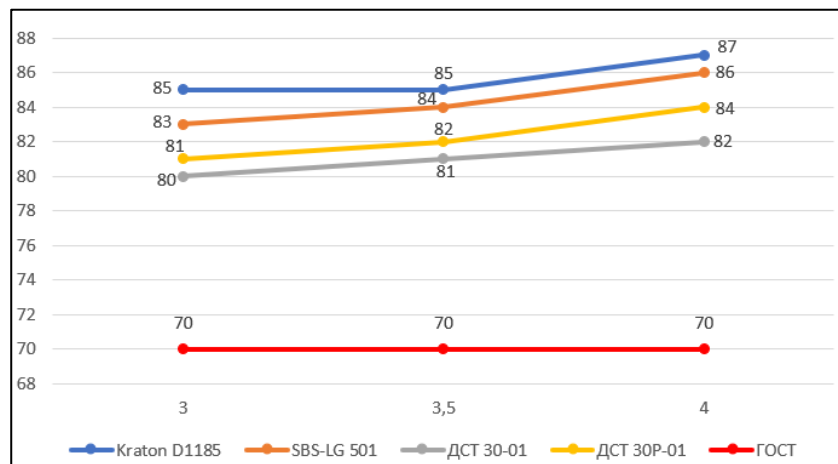


Рисунок 13. Эластичность, %, при 0°C
Figure 13. Elasticity, %, at 0°C

Результаты испытания 3 представлены на рисунках 14, 15:

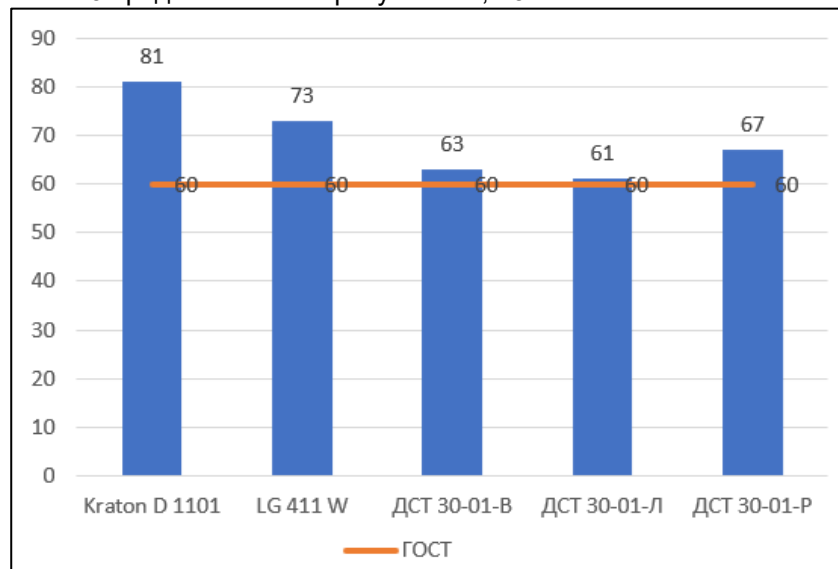


Рисунок 14. Глубина проникания иглы, 0,1 мм при 25°C
Figure 14. The depth of penetration of the needle, 0.1 mm at 25 ° C

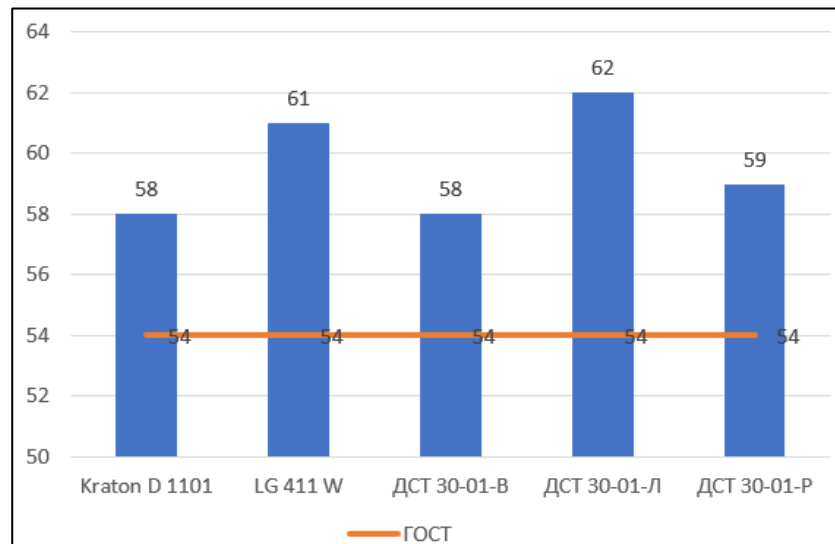


Рисунок 15. Температура размягчения по кольцу и шару
Figure 15. Softening temperature along the ring and ball

В ходе проведенного исследования экспериментально установлено, что ПБВ с применением российских СБС немного уступают полимерно-битумным вяжущим с добавлением немецких, шведских и южнокорейских модификаторов по некоторым параметрам. Однако, следует отметить, что значения параметров рассматриваемых образцов полимерно-битумного вяжущего с добавлением российских модификаторов, а также битума нефтяного дорожного, на основе которого были произведены образцы рассматриваемого ПБВ, соответствуют допустимым значениям, установленным в ГОСТ Р 52056-2003 и ГОСТ 22245-90. На основе данных результатов можно сделать вывод о том, что российские СБС-полимеры, добавляемые к нефтяным дорожным битумам, могут быть использованы в качестве импортозамещения и служить основными модификаторами к битумным вяжущим при проектировании составов дорожных покрытий на территории Российской Федерации.

4 Заключение

В данной работе путем анализа экспериментальных данных проводилось рассмотрение свойств полимерно-битумных вяжущих с добавлением СБС-полимеров, производимых в разных странах, с целью сравнения их с существующими российскими СБС-полимерами с возможностью импортозамещения.

Анализируя изложенный материал, можно с уверенностью констатировать, что объективное сравнение физико-механических параметров получаемого ПБВ с применяемыми российскими СБС-полимерами практически не отличается от качества ПБВ с добавлением немецких, шведских и южнокорейских модификаторов, при этом достигаются стабильные физико-механические параметры получаемого ПБВ:

1. Глубина проникания иглы, 0,1 мм при 25 °С
2. Растяжимость при 25 °С
3. Температура размягчения по кольцу и шару
4. Температура хрупкости по Фраасу
5. Эластичность при 25 °С

Это позволяет рекомендовать российские СБС-полимеры для производства ПБВ, что в свою очередь имеет положительный экономический эффект и позволяет снизить себестоимость ПБВ за счет более конкурентоспособной цены СБС-полимеров. Рассматриваемые российские СБС дешевле на 10-25 % по сравнению с рассматриваемыми немецкими, шведскими и южнокорейскими СБС-полимерами.

Таким образом, доказано, что применение российских СБС-полимеров в автодорожном строительстве в Российской Федерации выгодно. Поэтому, импортозамещение рассмотренных немецких, шведских и южнокорейских СБС-полимеров российскими аналогами возможно.

Литература / References

1. Changjiang Kou, Hassan Baaj, Mikhailenko, P., Zhengguang Wu. Protocol for the morphology analysis of SBS polymer modified bitumen images obtained by using fluorescent microscopy. *International journal of pavement engineering*. 2017. Pp. 1-7. DOI: 10.1080/10298436.2017.1316647
2. Davis, F.G. *Polymer chemistry*. Oxford, 2004. 248 p.
3. Gabriela, C.C., Glicerio, T., Joao, V.S.M., Matheus, F.M., Liseane, P.T., Lidia, C.L. Evaluation of Rheological behavior, resistance to permanent deformation and resistance to fatigue of asphalt mixtures modified with nanoclay and SBS polymer. *Applied sciences*. 2019. No 9. Pp. 1-16. DOI: 10.3390/app9132697

4. Hussein, H. K. *Effect of modified asphalt with SBS polymer on mechanical properties of recycled pavement mixture. Global Journal of Engineering Science and Research Management.* 2018. 5(7). Pp. 39-48. DOI: 10.5281/zenodo.1326413
5. Khamad, R. *Estimation of fuel resistance of asphalt concrete and polymer modified asphalt concrete. East European Journal of Advanced Technology.* 2015. 11 (75). Pp. 35-38. DOI: 10.15587/1729-4061.2015.43713
6. Suleiman, A.Y. *The effect of aging on bitumen properties modified with Styrene-Butadiene- Styrene (SBS) polymer. Journal of Science and Technology.* 2012. No 7. Pp. 593-596.
7. Suleiman, A.Y. *The effect of aging on bitumen properties modified with Styrene-Butadiene- Styrene (SBS) polymer. Journal of Science and Technology.* 2012. No 7. Pp. 593-596.
8. Zhuangzhuang Liu, Dongyu Niu *Determination of morphology characteristics of polymer-modified asphalt by a quantification parameters approach. Road Materials and Pavement Design.* 2019. 20(6). Pp. 1306-1321. DOI: 10.1080/14680629.2018.1443831
9. Amirbayev Ye.D., Begaliyeva S.T. *Modifitsirovanny bitum v Kazakhstane[Modified bitumen in Kazakhstan] Vestnik Kazakhskoy akademii transporta i kommunikatsiy im. M. Tynyshpayeva.* 2018. 2 (105). Pp. 259-266. (rus)
10. Andreyev A.A., Gavrilenko O.V., Tyukilina P.M. *Bitumnaya osnova dlya PBV, poluchayemaya s ispolzovaniyem SBS-modifikatora: otsenka gruppovogo khimicheskogo sostava[Bitumen base for PBB obtained using SBS-modifier: assessment of group chemical composition] Sbornik statey i dokladov yezhegodnoy nauchnoy sessii assotsiatsii issledovateley asfaltobetona [Collection of articles and reports of the annual scientific session of the Association of Asphalt Concrete Researchers]. Moscow, 2019. Pp. 47-54. (rus)*
11. Gaver S.V., Urcheva Yu.A., Syroyezhko A.M., Vasilyev V.V. *Vliyaniye sovmestimosti neftyanykh bitumov i stirol-butadiyen-stirolnykh polimerov na dispersnost i ekspluatiruyemye kharakteristiki polimerno-bitumnykh kompozitsiy[The effect of the compatibility of petroleum bitumen and styrene-butadiene-styrene polymers on the dispersion and exploited characteristics of polymer-bitumen compositions] Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo instituta (tekhnicheskogo universiteta).* 2016. 36 (62). Pp. 68-71. (rus)
12. Garipov R.R., Bagautdinov S.I., Galimzyanova R.Yu. *Stirol-Etilen-Butilen-Stirolnyye kauchuki i ikh svoystva[Styrene-Ethylene-Butylene-Styrene rubbers and their properties]. Nauchno-prakticheskiy elektronnyy zhurnal Alleya nauki.* 2019. T. 2. 3 (30). Pp. 274-277. (rus)
13. Garipov R.R., Khakimullin Yu.N., Galimzyanova R.Yu. *Analiz tekhnicheskikh resheniy na sostav polimerno-bitumnogo vyazhushchego stroitel'nogo naznachaniya na osnove stirol-butilen-stirolnykh kauchukov[Analysis of technical solutions for the composition of polymer-bitumen binders for construction purposes based on styrene-butylene-styrene rubbers]. Nauchno-prakticheskiy elektronnyy zhurnal Alleya Nauki.* 2018. 10(26). Pp. 211-215. (rus)
14. Gladiy Ye.A., Kemalov A.F., Kemalov R.A., Mustafin Kh. V., Minnekhezina R.I. *Prigotovleniye bitumnykh emulsiy na osnove zyuzeyevskogo bituma marki BND 60/90[Preparation of bitumen emulsions based on Zyuzeyevsky bitumen grade BND 60/90] Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta.* 2015. T. 18. No 16. Pp. 123-126. (rus)
15. Davlyatova D.Yu. *K voprosu o tekhnologii prigotovleniya polimerno-bitumnykh vyazhushchikh[To the question of the technology of preparation of polymer-bitumen binders]. Dorozhniki.* 2015. 4 (4). Pp. 48-51. (rus)
16. Zolotarev V.A. *Bitumy, modifitsirovannyye polimerami, i asfaltopolimerbetony[Polymer-modified bitumen and asphalt-polymer concrete]. Dorozhnaya tekhnika.* 2009. No 1. Pp. 16-23 (rus)
17. Ismailov A.M. *Optimizatsionno-kvalimetriceskaya model protsessa proyektirovaniya asfaltobetonnnykh smesey trebuyemogo kachestva[Optimization-qualimetric model of the process of designing asphalt mixtures of the required quality]. Sovremennyye naukoymkiye tekhnologii. – 2019. – No 11 (part 2) – Pp. 270-279. (rus)*
18. Kovalenko P.V. *Issledovaniye svoystv bitumno-polimernykh kompozitsiy[Study of the properties of bitumen-polymer compositions]. Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya V: Promyshlennost. Prikladnyye nauki.* 2008. No 2. Pp. 128-133. (rus)
19. Lazareva T.L., Tsupikova L.S. *Rasshireniye temperaturnogo intervala rabotosposobnosti vyazhushchego dlya asfaltobetonnnykh dorozhnykh pokrytiy Dalnego Vostoka[Expanding the temperature range of the binder working capacity for asphalt concrete pavements in the Far East]. Dalniy Vostok. Avtomobilnyye dorogi i bezopasnost dvizheniya Mezhdunarodnyy sbornik nauchnykh trudov. Khabarovsk, 2017. Pp. 335-344. (rus)*
20. Lazareva T.L., Yarmolinskaya N.I., Vybora polimernogo modifikatora s tselyu polucheniya polimerno-bitumnogo vyazhushchego dlya dorozhnykh pokrytiy Dalnego Vostoka[Selection of a polymer modifier to obtain a polymer-bitumen binder for paving the Far East]. *Dalniy Vostok: problemy razvitiya arkhitekturno-stroitel'nogo kompleksa.* 2017. No 1. Pp. 70-74. (rus)
21. Obukhov A.G., Vysotskaya M.A., Kindeyev O.N. *Vliyaniye komponentnogo sostava na kachestvo PBV[The effect of component composition on the quality of PBB]. Novaya nauka: Ot idei k rezultatu.* 2015. No 2. Pp. 97-101. (rus)
22. Ovchinnikov I.G., Ovchinnikov I.I. *Dorozhnaya odezhd na mostovykh sooruzheniyakh: otechestvennyy i zarubezhnyy opyt[Pavement on bridge structures: domestic and foreign experience]. Internet-zhurnal Naukovedeniye.* 2014. 5 (24). Pp. 67. (rus)

23. Rybachuk N.A. Problemy proizvodstva polimerno-bitumnykh vyazhushchikh v dorozhnom stroitelstve [Problems of the production of polymer-bitumen binders in road construction]. Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2015. 5 (100). Pp. 98-105. (rus)
24. Salnikova A.I. Issledovaniye plastifitsirovannykh polimerbitumnykh vyazhushchikh [The study of plasticized polymer bituminous binders]. Nauchnyy zhurnal. Inzhenerye sistemy i sooruzheniya. 2014. 4-3 (17). Pp. 172-179. (rus)
25. Teltayev B.B., Amirbayev Ye.D., Baybulatova D. Otsenka vysokotemperaturnoy ustoychivosti bitumnykh vyazhushchikh s uchetom ikh fizicheskogo stareniya pri postoyannykh i peremennykh vozdeystviyakh temperatur raznoy velichiny [Evaluation of the high-temperature stability of bitumen binders taking into account their physical aging under constant and variable effects of temperatures of different sizes]. Vestnik Kazakhskoy akademii transporta i kommunikatsiy im. M. Tynyshpayeva. 2018. 2 (105). Pp. 45-51. (rus)
26. Teltayev B.B., Amirbayev Ye.D., Baybulatova D. Opredeleniye nizkotemperaturnoy ustoychivosti bitumnykh vyazhushchikh s uchetom ikh fizicheskogo stareniya pri postoyannykh i peremennykh vozdeystviyakh temperatur raznoy velichiny [Determination of the low-temperature stability of bitumen binders taking into account their physical aging under constant and variable effects of temperatures of different sizes]. Vestnik Kazakhskoy akademii transporta i kommunikatsiy im. M. Tynyshpayeva. 2018. 2 (105). Pp. 38-45. (rus)
27. Teltayev B.B., Amirbayev Ye.D., Sarybayev N.N. Eksperimentalnoye opredeleniye nizkotemperaturnogo treshchinoobrazovaniya asfalto- i polimerasfaltobetonov s uchetom vozdeystviya postoyannykh i peremennykh temperatur raznoy velichiny [Experimental determination of low-temperature crack formation of asphalt and polymer-asphalt concrete, taking into account the effects of constant and variable temperatures of different sizes]. Vestnik Kazakhskoy akademii transporta i kommunikatsiy im. M. Tynyshpayeva. 2018. 2 (105). Pp. 51-57. (rus)
28. Trautvain A.I. Vliyaniye razlichnykh plastifikatorov na svoystva bituma [The influence of various plasticizers on the properties of bitumen]. Naukoyemkiye tekhnologii i innovatsii: sbornik dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. [High technology and innovation: a collection of reports of the International scientific and practical conference]. Belgorod: Belgorodskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskii universitet im. V.G. Shukhova. 2016. Pp. 233-238. (rus)
29. Urcheva Yu.A., Vasilyev V.V., Syroyezhko A.M., Gaver S.V. Vliyaniye sovmestimosti neftyanykh bitumov i stirol-butadiyen-stirolnykh polimerov na dispersnost i ekspluatatsionnyye kharakteristiki polimerno-bitumnykh kompozitsiy [The effect of the compatibility of petroleum bitumen and styrene-butadiene-styrene polymers on the dispersion and performance of polymer-bitumen compositions]. Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo instituta (tekhnicheskogo universiteta) - 2016. - 36(62). - Pp. 68 - 71 (rus)
30. Urcheva Yu.A., Syroyezhko A.M., Maydanova N.V., Vasilyev V.V. Vybor polimera dlya prigotovleniya polimerno-bitumnogo vyazhushchego s uluchshennymi pokazatelyami kachestva [The choice of polymer for the preparation of polymer-bitumen binder with improved quality indicators]. Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo instituta (tekhnicheskogo universiteta). 2013. 19 (45). Pp. 061-063. (rus)
31. Yarmolinskaya N.I., Lazareva T.L. Modifikatsiya dorozhnykh bitumov polimerami dlya vysokokachestvennykh dorozhnykh pokrytiy severnykh regionov Dalnego Vostoka [Modification of road bitumen with polymers for high-quality road surfaces of the northern regions of the Far East]. Dalniy Vostok. Avtomobilnyye dorogi i bezopasnost' dvizheniya mezhdunarodnyy sbornik nauchnykh trudov. [Far East. Roads and traffic safety is an international collection of scientific papers]. Khabarovsk, 2016. Pp. 135-140. (rus)
32. Yarmolinskaya N.I., Lazareva T.L., Tsupikova L.S. Polimerno-bitumnoye vyazhushcheye dlya ustroystva dorozhnykh pokrytiy na territorii Respubliki Sakha (Yakutiya) [Polymer-bitumen binder for paving in the Republic of Sakha (Yakutia)] // Dalniy Vostok. Avtomobilnyye dorogi i bezopasnost' dvizheniya mezhdunarodnyy sbornik nauchnykh trudov. [Far East. Roads and traffic safety is an international collection of scientific papers]. Khabarovsk, 2015. Pp. 183-188. (rus)
33. Kremenetskaya Ye.V., Goryachev M.V., Igoshin Yu.G., Korobitsyn A.Yu. Polimerno-bitumnyy vyazhushchiy material i sposob yego polucheniya [Polymer-bitumen binder material and method for its production]. Patent Russia no. 2009112874/04, 2011. (rus)
34. Vysotskaya M.A., Rusina S.Yu., Kuznetsov D.A., Yadykina V.V., Spitsyna N.G., Lobach A.S. Polimerno-bitumnoye vyazhushcheye i sposob yego polucheniya [Polymer-bitumen binder and method for its production]. Patent Russia no. 2012133131/05, 2013. (rus)
35. Modifikatsiya bitumov polimerami [Modification of bitumen with polymers] [Online]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2014/05/34687> (reference date: 12.07.2019). (rus)
36. Polimerno-bitumnyye vyazhushchiye materialy na osnove SBS dlya dorozhnogo stroitelstva. Obzornaya informatsiya [SBS-based polymer-bitumen binders for road construction. Overview information] [Online]. URL: www.norm-load.ru/SNP/Data/1/56/56236/ (reference date: 12.07.2019). (rus)
37. GOST 22245-90 Bitumy neftyanyye dorozhnyye vyazkiye. Tekhnicheskiye usloviya. [Viscous petroleum bitumen. Technical conditions] - M.: Standartinform, 1991. - 10 s. (rus)
38. GOST R 52056-2003 Vyazhushchiye polimerno-bitumnyye dorozhnyye na osnove blokopolimerov tipa stirol-butadiyen-stirol. Tekhnicheskiye usloviya. [Cementing polymer-bitumen road based on block copolymers of the styrene-butadiene-styrene type. Technical conditions] - M.: Standartinform, 2004. - 7 s. (rus)

Контактная информация**Contact information**

1* ismailov-aleksei@mail.ru

1* ismailov-aleksei@mail.ru

© Rusakov M.N., Ismailov A.M., 2020