

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-2-18-25

*\*Вабищевич К.Ю., Коновалов Н.П., Коновалов П.Н., Хозеев Е.О.**Иркутский национальный исследовательский технический университет**\*E-mail: Kristina-lebedev@mail.ru*

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ РЕЗИНЫ ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ ВЯЖУЩЕГО В АСФАЛЬТОБЕТОНЕ

**Аннотация.** На сегодняшний день одной из важных задач работников дорожного хозяйства является разработать и внедрить устойчивые к температурным перепадам и высоким техногенным нагрузкам дорожные покрытия. Так же необходимо, чтобы эти покрытия были экономически выгодны для производства. Так как известные способы улучшения физико-механических свойств вяжущего для асфальтобетона предполагают внедрение зачастую дорогостоящих зарубежных полимеров. Резиновая крошка, являясь отходом производства, позволяет решить проблему с утилизацией изношенных шин, соответственно и стоимость такого модификатора для дорожного битума в разы ниже, чем зарубежные полимеры. В статье рассмотрен пример использования резиновой крошки для модификации дорожного вяжущего в асфальтобетоне. Описаны составы битумно-резиновых суспензий, определение физико-механических свойств модифицированного вяжущего. Приведены результаты испытаний асфальтобетона с битумно-резиновым вяжущим. Проведен сравнительный анализ асфальтобетона на битуме нефтяном дорожном вязком и асфальтобетоне на модифицированном вяжущем. Целью данной работы является разработка теоретического обоснования и практического применения битумно-резинового вяжущего, получаемого совмещением битума нефтяного дорожного с резиновой крошкой. Обработка материалов происходила в поле СВЧ. Битумно-резиновый композит получаемый смешением битума нефтяного, резиновой крошки, нефтяного пека и нефтяного мазута, и обработанного в поле СВЧ, превосходит по физико-механическим свойствам битум нефтяной дорожный вязкий БНД 100/130.

**Ключевые слова:** битум, резиновая крошка, физико-механические свойства, нефтяной пек, нефтяной мазут.

**Введение.** В процессе производственной и бытовой деятельности человека образуется большое количество отходов, в частности, полимеров [1]. Полимеры – это высокомолекулярные соединения, имеющие различные химические составы и структуры. К полимерам относятся термопласты, термоэластопласты, эластомеры (каучукоподобные и каучуки). Существующие технологии использования вторичного резинового сырья решают проблему конкретного производства, а бытовые отходы эластомеров остаются без внимания. На севере России большая проблема переработки изношенных шин автомобилей [2]. Вывозят изношенные шины автомобилей в отработанные карьеры для захоронения. Где резина в процессе старения разрушается, соответственно происходит загрязнение окружающей среды [3]. Для снижения экологической нагрузки необходимы комплексные подходы переработки резинотехнических отходов и техногенного резинового сырья (автомобильных шин), разработка новых экологически чистых технологических процессов [4]. Изношенные автомобильные покрышки – отходы сферы потребления. Основным продуктом переработки покрышек является резиновая крошка [5].

**Материалы и методология.** Исходными материалами для приготовления вяжущего использовались резиновая крошка фракции 2,5 мм,

нефтяной пек, нефтяной мазут и битум нефтяной дорожный вязкий марки БНД 100/130. Физико-механические свойства вяжущего определяли на приборах: температуру размягчения на приборе КиШ-20М4, температуру хрупкости на АТХ-20, растяжимость на ДБ-2М, адгезию к каменным материалам с помощью емкости объемом 1000 мл и штатива. Для приготовления асфальтобетона тип Б марки II использовались минеральные материалы: щебень из гравия карьер «Иркутский» фракции от 5 до 10 мм и св. 10 до 20 мм, песок из отсевов дробления карьер «Иркутский» крупный класс II, минеральный порошок из карбонатных горных пород карьера «Перевал». Формование образцов асфальтобетона производилось на прессе ИП-1А-500АБ, ф форме диаметром 71,5 мм. Физико-механические свойства асфальтобетона измерялись на приборах: на прессе ДТС-06-50 предел прочности при сжатии при температурах 20 °С, 50 °С и 0 °С, определение предела прочности водонасыщенных образцов; при определении средней плотности и водонасыщении использовались весы лабораторные электронные ВЛТЭ-2100/5100, емкость объемом 20 литров.

**Основная часть.** На первом этапе изготовлено модифицированное вяжущее для асфальтобетона. Изначально изготавливаем 5 составов вяжущего с разными содержаниями резиновой

крошки, нефтяного пека и мазута. В битум, нагретый до жидкого состояния в сушильном шкафу при температуре 150 °С, добавляем резиновую крошку, нефтяной пек и нефтяной мазут.

Компоненты дозировались в процентах от содержания битума, битум принимаем за 100 %. Соотношение компонентов в процентах приведено в таблице 1.

Таблица 1

Соотношения компонентов

№п/п	Компоненты	Номера составов					
		1	2	3	4	5	6
1	Битум	100	100	100	100	100	100
2	Резиновая крошка	1	2	3	4	5	6
3	Нефтяной мазут	2	3	4	5	6	7
4	Нефтяной пек	5	10	15	20	25	30

Смешение компонентов осуществляется в герметичном реакторе под воздействием СВЧ излучения с постоянным перемешиванием. Образующиеся в процессе газы, поступают в теплообменник, и отводятся в приёмную ёмкость. [6] Смешивание проводилось в течение 2 часов при

температуре 185 °С. Далее составы были дополнительно обработаны на высокоскоростном диспергаторе в течении 10 минут при температуре 160 °С. Результаты по определению физико-механических свойств вяжущего приведены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты физико-механических испытаний вяжущего

№п/п	Наименование показателя	Номер состава	Показатели	
			Единичное значение	Среднее значение
1	Температура размягчения, °С	1	+46,5	+46,6
			+46,6	
			+46,6	
		2	+47,8	+47,8
			+47,8	
			+47,7	
		3	+48,0	+48,2
			+48,3	
			+48,2	
		4	+50,0	+50,1
			+50,2	
			+50,0	
		5	+50,2	+50,2
			+50,1	
			+50,2	
2	Температура хрупкости, °С	1	-20,0	-20,0
			-20,1	
			-20,0	
		2	-21,0	-21,0
			-20,9	
			-21,0	
		3	-21,0	-21,1
			-21,1	
			-21,1	
		4	-21,7	-21,8
			-21,8	
			-21,7	
		5	-22,0	-22,0
			-22,1	
			-22,0	

окончание таблицы 2

3	Растяжимость при 0 °С, см	1	3,9	4,0
			4,0	
			4,0	
		2	4,3	4,3
			4,3	
			4,2	
		3	4,5	4,5
			4,6	
			4,4	
		4	4,5	4,6
			4,6	
			4,6	
		5	4,8	4,9
			4,9	
			4,9	

Результаты испытаний на адгезию к каменным материалам, таким как гранит, базальт и щебень из гравия, составы №1 и №2 не выдержали к граниту, остальные все составы ко всем каменным материалам испытание выдержали.

По результатам, приведенным в таблице 2 можно сделать выводы, что составы №4 и №5 по своему содержанию однородны, резиновая крошка растворилась, что говорит о высоких физико-механических результатах испытаний, высокая температура размягчения, низкая температура хрупкости и достаточно хорошая растяжимость. Составы №4 и №5 выбраны в качестве вяжущего для асфальтобетона.

На втором этапе произведен замес асфальтобетона тип Б марка П на вяжущих №4 и №5, а также один состав на битуме БНД 100/130 в качестве эталонного образца. Состав асфальтобетона: щебень из гравия фракции св.10 до 20 мм – 22 %, щебень из гравия фракции от 5 до 10 мм – 21 %, песок из отсеков дробления – 52 %, минеральный

порошок – 5 %, вяжущее – 5,7 %. Минеральные материалы изначально высушены до постоянной массы. После точного дозирования щебень из гравия и песок из отсеков дробления помещены в сушильный шкаф на 2 часа при температуре 165 °С, вяжущее нагревалось отдельно 1,5 часа при температуре 140 °С. Далее на горячую смесь щебня из гравия и песка из отсеков дробления, высыпали минеральный порошок и налили вяжущее. Затем смесь грелась в сушильном шкафу 1 час при температуре 150 °С периодически через каждые 15 минут перемешиваясь. Далее из смеси формовали образцы диаметром 71,5 мм. Образцы перед испытаниями выдержали на воздухе при комнатной температуре 1 сутки. Испытания проводили в соответствии с ГОСТ 12801-98. Результаты испытания асфальтобетона приведены в таблице 3. Состав №1 – на битуме БНД 100/130, состав №2 – на вяжущем №4, состав №3 – на вяжущем №5.

Таблица 3

### Результаты физико-механических результатов испытаний асфальтобетона

№п/п	Наименование показателя	Номер состава	Показатели	
			Единичное значение	Среднее значение
1	Предел прочности при сжатии, МПа при температуре:  20 °С	1	2,58	2,59
			2,59	
			2,59	
		2	2,58	2,58
			2,58	
			2,59	
		3	2,64	2,65
			2,65	
			2,65	

продолжение таблицы 3

	50 °С	1	1,27	1,28
			1,28	
			1,28	
		2	1,34	1,33
			1,32	
			1,33	
	3	1,54	1,55	
		1,55		
		1,55		
	0 °С	1	8,01	8,00
			8,00	
			8,00	
		2	7,59	7,58
			7,57	
			7,58	
	3	8,00	8,02	
		8,03		
		8,02		
20 <sub>в</sub> °С	1	2,53	2,54	
		2,55		
		2,54		
	2	2,59	2,60	
		2,60		
		2,60		
3	2,83	2,83		
	2,82			
	2,83			
20 <sub>дл</sub> °С	1	2,41	2,40	
		2,40		
		2,40		
	2	2,47	2,48	
		2,47		
		2,49		
3	2,59	2,60		
	2,60			
	2,60			
2	Средняя плотность, г/см <sup>3</sup>	1	2,36	2,36
			2,36	
			2,35	
		2	2,37	2,37
			2,37	
			2,37	
3	2,38	2,38		
	2,37			
	2,38			
3	Водонасыщение, % по объему	1	3,03	3,02
			3,02	
			3,00	
		2	2,98	2,97
			2,97	
			2,95	
3	2,83	2,83		
	2,85			
	2,82			
4	Коэффициент водостойкости	1	0,98	0,98
			0,98	
			0,98	

окончание таблицы 3

		2	1,00	1,00
			1,01	
			1,00	
		3	1,07	1,07
			1,06	
			1,07	
5	Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении	1	0,93	0,93
			0,93	
			0,93	
		2	0,96	0,96
			0,96	
			0,96	
		3	0,98	0,98
			0,98	
			0,98	

Данные представленные в таблице 3 показывают положительное влияние модифицированного вяжущего на физико-механические свойства асфальтобетона [7]. Состав с вяжущим №5, где наибольшее содержание резиновой крошки, показал более высокие показатели. Плотность выше, чем у состава на битуме БНД 100/130, показатели водостойкости, как при длительном, так и при простом водонасыщении так же выше. Водонасыщение меньше, что говорит о меньшем содержании пор и более плотном составе. Предел прочности на сжатие при температуре 50 °С высокий, что говорит о теплостойкости асфальтобетона, предел прочности на сжатие при 0 °С показывает высокую трещиностойкость в зимний период. Так же дополнительно смеси были исследованы на адгезию. Полученные результаты показали отличную адгезию по 5 шкале на 5 баллов состав №3 на вяжущем с максимальным содержанием резиновой крошки и состав №2, на 4 балла состав №1.

**Выводы.** Проведенные в работе исследования показывают, что добавление резиновой крошки в битум, позволяет повысить его физико-механические свойства, такие как температура размягчения, температура хрупкости и растяжимость [8]. Получается вяжущее, которое является практически аналогом полимембитумного вяжущего, только с использованием отходов резины. Установлено, что асфальтобетон на модифицированном вяжущем позволяет повысить физико-механические свойства, такие как водостойкость, плотность, предел прочности при сжатии при температурах 20 °С, 0 °С, 50 °С, понизить водонасыщение [9]. Изношенные шины это эластомерный материал с уникальными свойствами.

Производство резиновых изделий, а именно автомобильных шин увеличивается с каждым годом, соответственно растут отходы, что неблагоприятно влияет на окружающую среду [10]. Резиновая крошка, получаемая из отходов резины, является уникальным модификатором вяжущего для асфальтобетона. Так как по сравнению с каучуками более устойчива к окислительному воздействию кислорода воздуха, обладает высокой устойчивостью к солевым растворам и воде. В своем составе резиновая крошка содержит полимеры, пластификаторы и антиоксиданты, благодаря им повышается устойчивость вяжущего в условиях эксплуатации.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коновалов Н.П. Применение СВЧ-энергии для переработки угля и отходов резины в жидкие продукты: диссертация док. тех. наук. М., 2001. С. 150–155.
2. Акимов А.Е. Повышение качества асфальтобетона путем обработки битума полем сверхвысокой частоты: диссертация канд. техн. наук. Б., 2010. С. 53–58.
3. Окресса Э. СВЧ-энергетика. М.: Изд-во Мир, 2009. 463 с.
4. Месяц Л.Д. Генерирование мощных наносекундных импульсов. М.: Изд-во Радио, 2010. 256 с.
5. Никольский В.В. Электродинамика и распространение радиоволн. М.: Изд-во Наука; 2012. 143 с.
6. Архангельский Ю.С., Девяткин И.И. Сверхвысокочастотные нагревательные установки для интенсификации технологических

процессов. С.: Изд-во Саратовского ун-та. 2014. 140 с.

7. Духин С.С., Дерягин Б.В. Электрофорез. М.: Изд-во Наука. 2013. 336 с.

8. Potyondy D.O. Geosystem Engineering. Engineering. 2015. Vol. 23. Pp. 131–139.

9. Zhang D., Whiten W. Powder Technology. Concrete. 2010. Vol. 9. Pp 205–212.

10. Mullahmetov N.R., Kemalov A.F., Kemalov R.A., Kostromin R.N. Modification of road bitumen with rubber // Rubber. 2005. Vol 12. Pp 123–129.

11. Yamashita K., Nagai M. // Materials science. 2012. Vol. 32. Pp. 124–129.

12. Chiu R.C., Garino T.J. // Ceramic materials. 2014. Vol. 76. Pp. 222–234.

13. Котов Ю.А., Осипов В.В., Иванов М.Т. Модифицированные битумы. М.: Изд-во ЖТФ. 2015. С. 76.

14. Цодиков М.В., Передерий М.А., Карасева М.С. Применение полимербитумных вяжущих. Российские нанотехнологии. 2007. № 1. С. 153–155.

15. Цодиков М.В., Передерий М.А., Карасева М.С. Резино-битумные вяжущие // Научно-технические технологии. 2007. № 4. С. 49–57.

16. Носов В.П. Увеличение сроков службы дорожных одежд – стратегическая задача дорожной науки // Автомобильные дороги. 2006. № 12. С. 81–86.

17. Соломенцев А.Б. Классификация и номенклатура модифицирующих добавок для битумов // Наука и техника в дорожной отрасли. 2008. № 1. С. 14–16.

18. Capitão S.D. Pavement engineering materials: Review on the use of warm-mix asphalt // Construction and Building Materials. 2012. Vol. 36. Pp. 1016–1024.

19. Железко Т.В. Структура и свойства асфальтовяжущих // Изв. вузов. Строительство. 2016. №3. С. 35–42.

20. Руденский А.В. Повышение долговечности асфальтобетонов введением активного комплексного модификатора // Строительные материалы. 2011. № 10. С. 10–11.

#### Информация об авторах

**Вабищевич Кристина Юрьевна**, аспирант кафедры автомобильных дорог. E-mail: Kristina-lebedev@mail.ru. Иркутский национальный исследовательский технический университет. Россия, 664074, Иркутск, ул. Лермонтова, д.83.

**Коновалов Николай Петрович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой физики. E-mail: knp@istu.edu. Иркутский национальный исследовательский технический университет. Россия, 664074, Иркутск, ул. Лермонтова, д.83.

**Коновалов Петр Николаевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры физики. E-mail: i03@istu.edu. Иркутский национальный исследовательский технический университет. Россия, 664074, Иркутск, ул. Лермонтова, д.83.

**Хозеев Евгений Олегович**, аспирант кафедры автомобильных дорог. E-mail: khozeev1987@mail.ru. Иркутский национальный исследовательский технический университет. Россия, 664074, Иркутск, ул. Лермонтова, д.83

Поступила в октябре 2019 г.

© Вабищевич К.Ю., Коновалов Н.П., Коновалов П.Н., Хозеев Е.О., 2020

*\*Vabishchevich K.Yu., Konovalov N.P., Konovalov P.N., Hoosev E.O.*

*Irkutsk National Research Technical University*

*\*E-mail: Kristina-lebedev@mail.ru*

## USE OF RUBBER WASTE TO MODIFY THE BINDER IN ASPHALT CONCRETE

**Abstract.** *The development and implementation of road surfaces resistant to temperature extremes and high technogenic loads is one of the important tasks for road workers. These surfaces must be economically viable for production. Since the known methods for improving the physicomechanical properties of a binder for asphalt concrete involve the introduction of expensive foreign polymers. Rubber crumb, being a waste of production, allows to solve the problem with the disposal of used tires, and the cost of such a modifier for road bitumen is lower than foreign polymers. The article describes an example of using a rubber crumb to modify the road binder in asphalt concrete. The compositions of bitumen-rubber suspensions, the determination of the physicomechanical properties of a modified binder are described. The test results of asphalt concrete with a bitumen-rubber binder are given. A comparative analysis of asphalt concrete on bitumen oil road viscous and asphalt concrete on a modified binder is carried out. The purpose of this work is to develop a theoretical justification and practical application of a bituminous-rubber binder obtained by combining oil road bitumen*

with rubber crumb. Material processing takes place in the microwave field. The resulting bitumen-rubber composite surpasses viscous petroleum bitumen in physical and mechanical properties and is suitable for use as a binder for the production of high-quality asphalt concrete.

**Keywords:** bitumen, crumb rubber, physical and mechanical properties, oil pitch, oil fuel.

## REFERENCES

1. Konovalov N.P. Application of microwave energy for processing coal and rubber waste into liquid products [Primenenie SVCH-energii dlya pererabotki uglya i othodov reziny v zhidkie produkty]: dis. doc. those. sciences. Moscow, 2001. Pp. 150–155.
2. Akimov A.E. Improving the quality of asphalt concrete by treating bitumen with an ultra-high frequency field [Povyshenie kachestva asfal'tobetona putem obrabotki bituma polem sverhvysokej chastoty]: dis., cand. tech. sciences. Belgorod, 2010. Pp. 53–58
3. Okressa E. Microwave energy [SVCH–energetika]. Moscow: Mir Publishing House, 2009. 463 p.(rus)
4. Month L.D. The generation of powerful nanosecond pulses [Generirovanie moshchnyh nanosekundnyh impul'sov]. Moscow: Radio Publishing House, 2010. 256 p. (rus)
5. Nikolsky V.V. Electrodynamics and radio wave propagation [Elektrodinamika i rasprostranenie radiovoln]. Moscow: Science Publishing House; 2012.143 p.(rus)
6. Arkhangelsk Yu.S., Devyatkin I.I. Microwave heating installations for the intensification of technological processes [Sverhvysochastotnye nagrevatel'nye ustanovki dlya intensivatsii tekhnologicheskikh processov]. Saratov: Publishing house of Saratov University. 2014.140 p. (rus)
7. Dukhin S.S., Deryagin B.V. Electrophoresis [Elektroforez]. Moscow: Publishing House of Science. 2013.336 p.(rus)
8. Potyondy D.O. Geosystem Engineering. Engineering. 2015. Vol. 23. Pp. 131–139.
9. Zhang D., Whiten W. Powder Technology. Concrete. 2010. Vol. 9. Pp. 205–212.
10. Mullahmetov N.R., Kemalov A.F., Kemalov R.A., Kostromin R. N. Modification of road bitumen with rubber. Rubber. 2005. Vol 12. Pp. 123–129.
11. Yamashita K., Nagai M. Materials science. 2012. Vol. 32. Pp. 124–129.
12. Chiu R.C., Garino T.J. Ceramic materials. 2014. Vol. 76. Pp. 222–234.
13. Kotov Yu.A., Osipov V.V., Ivanov M.T. Modified bitumen [Modificirovannye bitумы]. Moscow: Publishing house ZhTF. 2015. P. 76.(rus)
14. Tsodikov M.V., Perederiy M.A., Karaseva M.S. The use of polymer bitumen binders [Primenenie polimerbitumnyh vyazhushchih]. Russian Nanotechnology. 2007. No. 1. Pp. 153–155.(rus)
15. Tsodikov M.V., Perederii M.A., Karaseva M.S. Rubber-bitumen binders [Rezino-bitumnye vyazhushchie]. High technology. 2007. No. 4. Pp. 49–57.(rus)
16. Nosov V.P. Increasing the service life of pavements is a strategic task of road science [Uvelichenie srokov sluzhby dorozhnyh odezhd – strategicheskaya zadacha dorozhnoj nauki]. Highways. 2006. No. 12. Pp. 81–86.(rus)
17. Solomentsev A.B. Classification and nomenclature of modifying additives for bitumen [Klassifikatsiya i nomenklatura modificiruyushchih dobavok dlya bitumov]. Science and technology in the road industry. 2008. No. 1. Pp. 14–16.(rus)
18. Capitão S. D. Pavement engineering materials: Review on the use of warm-mix asphalt. Construction and Building Materials. 2012. Vol. 36. Pp. 1016-1024.
19. Zhelezko T.V. The structure and properties of asphalt binders [Struktura i svoystva asfal'tovyazhushchih]. Izv. universities. Construction. 2016. No3. Pp. 35–42.(rus)
20. Rudensky A.V. Increasing the durability of asphalt concrete by the introduction of an active complex modifier [Povyshenie dolgovechnosti asfal'tobetonov vvedeniem aktivnogo kompleksnogo modifikatora]. Building materials. 2011. No. 10. Pp. 10–11. (rus)

### Information about the authors

**Vabishchevich, Kristina Yu.** Postgraduate student. E-mail: Kristina-lebedev@mail.ru. Irkutsk National Research Technical University. Russia, 664074, Irkutsk, ul. Lermontova, d. 83

**Konovalov, Nikolaj P.** DSc, Professor. E-mail: knp@istu.edu. Irkutsk National Research Technical University. Russia, 664074, Irkutsk, ul. Lermontova, d. 83

**Konovalov, Petr N.** PhD, Assistant professor. E-mail: i03@istu.edu. Irkutsk National Research Technical University. Russia, 664074, Irkutsk, ul. Lermontova, d. 83

---

**Hozeev, Evgenij O.** Postgraduate student. E-mail: Kristina-lebedev@mail.ru. Irkutsk National Research Technical University. Russia, 664074, Irkutsk, ul. Lermontova, d. 83

---

*Received in October 2019*

**Для цитирования:**

Вабищевич К.Ю., Коновалов Н.П., Коновалов П.Н., Хозеев Е.О. Использование отходов резины для модификации вяжущего в асфальтобетоне // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 2. С. 18–25. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-2-18-25

**For citation:**

Vabishchevich K.Yu., Kononov N.P., Kononov P.N., Hoseev E.O. Use of rubber waste to modify the binder in asphalt concrete. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 2. Pp. 18–25. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-2-18-25