

УДК 691.327

ОЦЕНКА АДГЕЗИОННЫХ И КОГЕЗИОННЫХ СВОЙСТВ ДОРОЖНЫХ БИТУМОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ БУТАДИЕНСТИРОЛЬНЫМ КАУЧУКОМ

© Р. З. Биглова*, Р. Н. Насретдинова

*Башкирский государственный университет
Россия, Республика Башкортостан, 450076 г. Уфа, ул. Заки Валиди, 32.*

Тел.: +7 (347) 229 97 29.

*Email: bn.yulya@mail.ru

В статье приводятся результаты исследования влияния на когезию и адгезионное взаимодействие с минеральными материалами битума марки БНД 90/130 и широко распространенного и в России, и в Республике Башкортостан полимера – дивинилстирольного каучука, предварительно растворенного в некондиционном бензине с температурой выкипания 80–110 °С. Для достижения высокого качества асфальтобетонных покрытий совмещение вяжущего с дивинилстирольным каучуком осуществляли при интенсивном перемешивании ингредиентов битумной композиции и нагревании. Показано повышение адгезионных свойств композиционного материала и существенное улучшение сцепления с минеральными компонентами асфальтобетона при добавлении в дорожный битум от 1 до 10 масс. % дивинилстирольного каучука. Опираясь на экспериментальные данные, с привлечением сопоставительного анализа определена оптимальная концентрация добавляемого к битуму высокомолекулярного соединения, обеспечивающая соответствие основным показателям ГОСТ. Достаточное улучшение сцепления модифицированного вяжущего с минеральным материалом обеспечивает введение 7%-ной добавки дивинилстирольного каучука в битумную композицию.

Ключевые слова: *бутадиенстирольный каучук, дорожный битум, адгезионные свойства, когезия.*

Введение

Производимые в России битумы имеют узкий интервал пластичности, невысокую адгезию к каменным материалам, что негативно сказывается на качестве предназначенного для строительства автомобильных дорог асфальтобетона. Для повышения эксплуатационных характеристик битума используется модификация, прежде всего, высокомолекулярными соединениями. В качестве последних наиболее перспективны эластомеры (бутадиен-акрилонитрильные, дивинилстирольные), способные формировать прочную пространственную структуру в создаваемых с их участием композициях [1–8].

Битум должен обладать повышенной эластичностью, высоким значением энергии когезии самого материала и хорошей адгезией к минеральным компонентам асфальтобетона. Из литературных источников известно, что применение эластомеров существенно улучшает свойства полимербитумного вяжущего: снижает температуру хрупкости и повышает температуру размягчения, положительно влияет на прочностные характеристики асфальтобетона, его трещиностойкость и сдвигоустойчивость [9–19]. Кроме того, авторами [20] отмечается, что адгезионная способность полимербитумного вяжущего превосходит аналогичную исходных битумов. Добавление высокомолекулярных соединений способствует упрочению материала, в основном, за счет роста энергии когезии. Однако необхо-

димо учитывать следующее. Резинотехнические изделия на основе каучуков демонстрируют малую величину адгезии. Поэтому даже не вулканизированные каучукоподобные полимеры при добавлении в битум не могут ощутимо увеличить адгезию модифицированного вяжущего к минеральным материалам. При этом природа последнего не имеет значения, поскольку в состав каучуков реакционно-способные группы, как правило, не входят.

В настоящей работе приводятся результаты исследования влияния на адгезионно-когезионное взаимодействие битума бутадиенстирольного каучука, введенного в различных концентрациях.

Экспериментальная часть

В качестве эластомера был выбран промышленный образец дивинилстирольного каучука (ДСТ). Полимер непосредственно вводили в битум (марка БНД 90/130) при высокой (180 °С) температуре в виде 10%-ного раствора, а в качестве растворителя использовали фракцию некондиционного бензина с температурой выкипания 80–110 °С. При исследовании свойств модифицированных полимером вяжущих употребляли стандартные методики испытаний [21]. Адгезионное взаимодействие на границе вяжущее-мрамор определяли путем отрыва друг от друга мраморных пластинок, склеенных тонким слоем битума (рис. 1). Поверхность мраморных пластинок предварительно очищали и обезвоживали этанолом, далее диэтиловым эфиром.

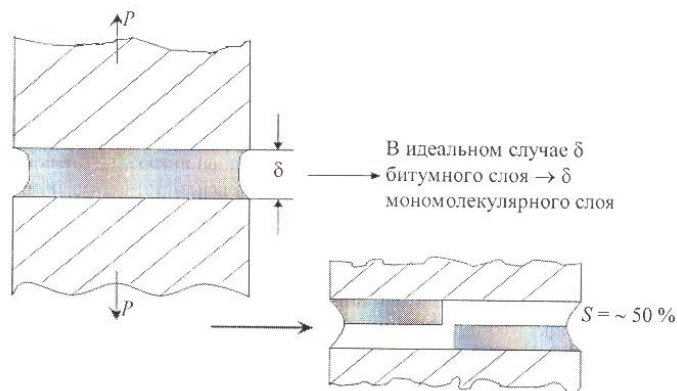


Рис. 1. Схема определения адгезионного взаимодействия образцов модифицированного битума с мраморной пластиной.

Для определения навеску расплавленного при 80–90°C битума помещали между полированными поверхностями горизонтально расположенных мраморных пластин. Верхнюю пластину прижимали к нижней нагрузкой 3 кг/см². Доводили температуру пластин до комнатной. Для определения усилий отрыва пластин друг от друга применяли разрывную машину РС-250, скорость перемещения рабочих тел машины составила 25 мм/мин. Адгезионную прочность битума определяли как

$$\sigma_{p\delta} = \frac{P}{S},$$

где P – разрывная нагрузка в момент разделения пластин, Н/м²;

S – суммарная площадь пластин, равная 6 см².

Относительную адгезионную прочность (K_o) образцов, модифицированных растворами полимера, определяли относительно битума:

$$K_o = \frac{\sigma_{pm}}{\sigma_{p\delta}},$$

где σ_{pm} – адгезионная прочность модифицированного вяжущего;

$\sigma_{p\delta}$ – адгезионная прочность исходного битума.

Для определения когезионного взаимодействия (силы взаимодействия между молекулами самого материала) пластины мрамора, склеенные слоем битума, сдвигали относительно друг друга в продольном направлении (рис. 2).

Если в случае сдвига в продольном направлении пластин слой битума остается на каждой пластине, то величина усилия сдвига будет характеризовать когезионную прочность вяжущего.

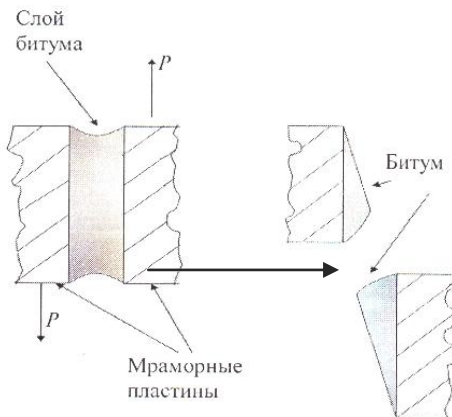


Рис. 2. Схема определения адгезионного взаимодействия между молекулами вяжущего.

Таблица

Результаты определения адгезионной прочности исходного и модифицированных битумов

% образца	Состав битумной композиции, масс. %	$\sigma_{p\delta} \times 10^5$, Н/м ²	$\sigma_{pm} \times 10^5$, Н/м ²	K _o	Площадь слоя битума мраморной пластины, %
1	Битум БНД 90/130	2.16	–	1.00	~ 50
2	Битум БНД + 1% ДСТ	–	2.29	1.09	~ 40–50
3	Битум БНД + 5% ДСТ	–	2.96	1.37	~ 40–50
4	Битум БНД + 7% ДСТ	–	3.26	1.51	~ 40–50
5	Битум БНД + 10% ДСТ	–	3.33	1.54	~ 40–50

Результаты и их обсуждение

В промышленных условиях для увеличения содержания полимера в битуме рекомендуется предварительно растворять высокомолекулярное соединение в индустриальном масле (например, И-40, ИС-20) [22–23]. Однако это негативно влияет на адгезию битума к мраморной подложке. Имея ввиду этот факт, мы вводили в битум бутадиенстирольный каучук, предварительно растворенный в легколетучей фракции неконденсированного бензина с температурой выкипания 80–110°C и при интенсивном перемешивании достигали высокой однородности получаемой композиции. Поскольку максимальная концентрация высокомолекулярного соединения в битумной композиции не должна превышать 10% масс., в опытах по оценке адгезионных свойств модифицированных битумов рассматривали четыре значения: 1, 5, 7 и 10 масс. % полимера. Раствор полимера вводили в расплавленный битум, исходя из следующего расчета: в образовавшейся после испарения неконденсированного бензина композиции содержание вяжущего и добавки составляло в масс. %: 90 и 10; 93 и 7; 95 и 5; 99 и 1, соответственно.

Слой склеивающего битума приближается к мономолекулярному, следовательно, усилие отрыва в таком случае считается адгезионной характеристикой. При добавлении в битум веществ, увеличивающих адгезию вяжущего к минеральным материалам (в нашем случае мрамор), после отрыва склеенных пластин на последних остается ощутимое количество битума. Следовательно, адгезионное взаимодействие между поверхностными слоями вяжущего и каменным материалом превышает когезионное взаимодействие между молекулами вяжущего. Данные по определению адгезионной прочности исходного и модифицированных образцов битума приведены в *табл.*

Как видно из таблицы, введенная в различных концентрациях добавка дивинилстирольного каучука оказывает положительное влияние на адгезионные свойства получаемых с их использованием композиционных вяжущих. Максимальное повышение адгезии (на 54% по сравнению с БНД 90/130) продемонстрировал образец №5, с содержанием полимера – 10 масс. %, а несколько меньшее – образец №4 – 51%. Однако следует иметь ввиду, что в последнем случае значительное улучшение относительно БНД адгезионных свойств достигается при меньшем расходовании высокомолекулярного соединения в битумной композиции, а результат – близкий к образцу №5. Поэтому вариант введения 7%-ной добавки ДСТ в битумную композицию для обеспечения высоких адгезионных свойств предпочтителен.

Поскольку когезия битумов – объективная характеристика их механической прочности и может служить для практического прогнозирования прочности асфальтобетона, мы определили усилия сдви-

гового разделения склеенных вяжущим мраморных пластин (когезия самого материала). Для образцов №№1–5 она составила соответственно 1.90×10^{-5} ; 2.28×10^{-5} ; 2.87×10^{-5} ; 2.99×10^{-5} и 3.11×10^{-5} Н/м². Очевидно, что объединение растворенного в бензине дивинилстирольного каучука при высокотемпературном смешивании с битумом приводит к возрастанию энергии когезии образцов модифицированного вяжущего на 30.01–60.36% по сравнению с исходным битумом. Оптимальным представляется употребление 7%-ной добавки ДСТ в битумной композиции, что обеспечивает достаточное улучшение сцепления модифицированного вяжущего с минеральным материалом.

Выводы

В результате работы проведена оценка адгезионных и когезионных свойств модифицированных бутадиенстирольным каучуком дорожных битумов. Установлено, что добавление к вяжущему предварительно растворенного в некондиционном бензине дивинилстирольного каучука (от 1 до 10 масс. %) повышает адгезионные свойства композиционного материала и существенно улучшает сцепление с минеральными компонентами асфальтобетона. Оптимальным представляется применение 7%-ной добавки дивинилстирольного каучука в битумной композиции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zhang Q., Fan W., Wang T., Nan G., Sunarso J. Influence of emulsification on the properties of styrene-butadiene-styrene chemically modified bitumens // *Construction and Building Materials* 2012. Vol. 29. P. 97–101.
2. Abdulrahman A. Al-Rabiah, Omar Y. Abdelaziz, Enrique M. Montero & Mohamed S. Aazam Effect of styrene-butadiene-styrene copolymer modification on properties of Saudi bitumen // *Petroleum Science and Technology*. 2016. Vol. 34. P. 321–327.
3. Zhang H., Jia X., Yu J., Xue L. Effect of expanded vermiculite on microstructures and aging properties of styrene-butadiene-styrene copolymer modified bitumen // *Construction and Building Materials*. 2013. Vol. 40. P. 224–230.
4. Zhang H., Zhu C., Tan B., Shi C. Effect of organic layered silicate on microstructures and aging properties of styrene-butadiene-styrene copolymer modified bitumen // *Construction and Building Materials*. 2014. Vol. 68. P. 31–38.
5. Wloczyński P., Vidal A., Papirer E., Gauvin P. Relationships between rheological properties, morphological characteristics, and composition of bitumen-styrene butadiene styrene copolymers mixes. I. A three-phase system // *J. Appl. Polym. Sci.* 1997. Vol. 65. P. 1595–1607.
6. Zhang Q., Fan W., Wang T., Sunarso J., Nan G. The Influence of Emulsifier Type on Conventional Properties, Thermal Behavior, and Microstructure of Styrene-butadiene-styrene Polymer Modified Bitumen // *Petroleum Science and Technology*. 2014. Vol. 32. P. 1184–1190.
7. Fawcett A. H., McNally T. Blends of bitumen with polymers having a styrene component // *Polymer Engineering and Science*. 2001. Vol. 41. P. 1251–1264.
8. Costa L.M.B., Silva H.M.R.D., Oliveira J.R.M., Fernandes S.R.M. Incorporation of waste plastic in asphalt binders to improve their performance in the pavement // *International Journal of Pavement Research and Technology*. 2013. Vol. 6. P. 457–464.

9. Brülé B. Polymer-modified asphalt cements used in the road construction industry: Basic principles // *Transportation Research Record*. 1996. Vol. 1535. P. 48–53.
10. Леоненко В. В., Сафонов Г. А. Некоторые аспекты модификации битумов полимерными материалами // *Химия и технология топлив и масел*. 2001. №5. С. 43–45.
11. Priyato S., Mansoori G. A., Suwono A. Measurement of property relationships of nano-structure micelles and coacervates of asphaltene in pure solvent // *Chemical Engineering Science*. 2001. Vol. 56. P. 6933–6939.
12. Osama A. Effect of aggregate on asphalt mixture cracking using time-dependent fracture mechanics approach // *ASTM Special Technical Publication*. 1992. Vol. 1147. P. 281–294.
13. Мухаматдинов И. И., Фахретдинов П. С., Кемалов А. Ф. Влияние адгезионной присадки на свойства асфальтобетона // *Наука и техника в дорожной отрасли*. 2014. №4. С. 30–31.
14. Hınısliođlu, S., Aras, H. N., Bayrak, O. Ü. Effects of high density polyethylene on the permanent deformation of asphalt-concrete // *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*. 2005. Vol. 12. P. 456–460.
15. Zhang S. L., Xin Z. X., Zhang Z. X., Kim J. K., Characterization of the properties of thermoplastic elastomers containing waste rubber tire powder // *Waste Management*. 2009. Vol. 29. P. 1480–1485.
16. Olard F., Di Benedetto H., Dony A., Vaniscote J.-C. Properties of bituminous mixtures at low temperatures and relations with binder characteristics // *Materials and Structures / Matériaux et Constructions*. 2005. Vol. 38. P. 121–126.
17. Al-Adham K., Wahhab H. A. A. Effect of polymer type on improving rheological parameters related to rutting resistance of asphalt binders // *Bituminous Mixtures and Pavements ICONFBMP 2015. VI Proceedings of the 6th International Conference on Bituminous Mixtures and Pavements*. Thessaloniki, Greece, 2015. P. 89–95.
18. Jiang Z., Hu C., Easa S. M., Zheng X., Zhang Y. Evaluation of physical, rheological, and structural properties of vulcanized EVA/SBS modified bitumen // *Journal of Applied Polymer Science*. 2017. Vol. 134. P. 44850–44860.
19. Zhu J., Birgisson B., Kringos N. Polymer modification of bitumen: Advances and challenges // *European Polymer Journal*. 2014. Vol. 54. P. 18–38.
20. Котов С. В., Тимофеева Г. В., Ливанова С. В. Дорожные битумы с модифицирующими добавками // *Химия и технология топлив и масел*. 2003. №3. С. 52–53.
21. Горельшев Н. В., Гурячков И. Л., Пинус Э. Р. *Материалы и изделия для строительства дорог: справочник*. М.: Транспорт, 1986. 288 с.
22. Полякова С. В. Применение модифицированных битумов в дорожном строительстве // *Наука и техника в дорожной отрасли*. 1999. №1. С. 19–21.
23. Киселев В. П., Ефремов А. А., Бугаенко М. Б., Гурьев Д. Л., Кеменов Н. В., Филимонов В. С. Оценка адгезионных и когезионных свойств модифицированных дорожных битумов // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2010. №4. С. 129–138.

Поступила в редакцию 03.09.2018 г.

EVALUATION OF ADHESION AND COHESION PROPERTIES OF ROAD BITUMENS MODIFIED BY BUTADIENISTIC RUBBER

© R. Z. Biglova*, R. N. Nasretdinova

*Bashkir State University
32 Zaki Validi Street, 450076 Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia.*

Phone: +7 (347) 229 97 29.

**Email: bn.yulya@mail.ru*

The article is devoted to the study of cohesion and adhesion interaction with mineral materials of bitumen of BND grade 90/130 and divinyl styrene rubber, a polymer widely distributed both in Russia and the Republic of Bashkortostan, previously dissolved in standard gasoline with a boiling temperature of 80–110 °C. To achieve high quality asphalt concrete, the combination of the binder with divinyl styrene rubber was produced with intensive mixing of the bitumen composition ingredients and heating. An increase in the adhesive properties of the composite material and significant improvement in its adhesion to mineral components of asphalt concrete were observed after adding 1–10 percentage by weight of divinyl styrene rubber to road bitumen. The authors of the article applied the comparative analysis and on the basis of experimental data determined optimum concentration of a high-molecular compound added to bitumen, which ensures compliance with the main GOST requirements. Introduction of a 7% additive of divinyl styrene rubber to the bituminous composition ensures the sufficient improvement in the adhesion of the modified binder to the mineral material.

Keywords: styrene-butadiene rubber, road bitumen, adhesion properties, cohesion.

Published in Russian. Do not hesitate to contact us at bulletin_bsu@mail.ru if you need translation of the article.

REFERENCES

- Zhang Q., Fan W., Wang T., Nan G., Sunarso J. *Construction and Building Materials* 2012. Vol. 29. Pp. 97–101.
- Abdulrahman A. *Petroleum Science and Technology*. 2016. Vol. 34. Pp. 321–327.
- Zhang H., Jia X., Yu J., Xue L. *Construction and Building Materials*. 2013. Vol. 40. Pp. 224–230.
- Zhang H., Zhu C., Tan B., Shi C. *Construction and Building Materials*. 2014. Vol. 68. Pp. 31–38.
- Wloczysiak P., Vidal A., Papirer E., Gauvin P. J. *Appl. Polym. Sci.* 1997. Vol. 65. Pp. 1595–1607.
- Zhang Q., Fan W., Wang T., Sunarso J., Nan G. *Petroleum Science and Technology*. 2014. Vol. 32. Pp. 1184–1190.
- Fawcett A. H., McNally T. *Polymer Engineering and Science*. 2001. Vol. 41. Pp. 1251–1264.
- Costa L.M.B., Silva H.M.R.D., Oliveira J.R.M., Fernandes S.R.M. *International Journal of Pavement Research and Technology*. 2013. Vol. 6. Pp. 457–464.
- Brúlé B. *Transportation Research Record*. 1996. Vol. 1535. Pp. 48–53.
- Leonenko V. V., Safonov G. A. *Khimiya i tekhnologiya topliv i masel*. 2001. No. 5. Pp. 43–45.
- Priyato S., Mansoori G. A., Suwono A. *Chemical Engineering Science*. 2001. Vol. 56. Pp. 6933–6939.
- Osama A. *ASTM Special Technical Publication*. 1992. Vol. 1147. Pp. 281–294.
- Mukhamatdinov I. I., Fakhretdinov P. S., Kemalov A. F. *Nauka i tekhnika v dorozhnoi otrasli*. 2014. No. 4. Pp. 30–31.
- Hinislioglu, S., Aras, H. N., Bayrak, O. Ü. Effects of high density polyethylene on the permanent deformation of asphaltconcrete. *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*. 2005. Vol. 12. Pp. 456–460.
- Zhang S. L., Xin Z. X., Zhang Z. X., Kim J. K. *Waste Management*. 2009. Vol. 29. Pp. 1480–1485.
- Olard F., Di Benedetto H., Dony A., Vaniscote J.-C. *Materials and Structures / Materiaux et Constructions*. 2005. Vol. 38. Pp. 121–126.
- Al-Adham K., Wahhab H. A. A. *Bituminous Mixtures and Pavements ICONFBMP 2015. VI Proceedings of the 6th International Conference on Bituminous Mixtures and Pavements*. Thessaloniki, Greece, 2015. Pp. 89–95.
- Jiang Z., Hu C., Easa S. M., Zheng X., Zhang Y. *Journal of Applied Polymer Science*. 2017. Vol. 134. Pp. 44850–44860.
- Zhu J., Birgisson B., Kringos N. *European Polymer Journal*. 2014. Vol. 54. Pp. 18–38.
- Kotov S. V., Timofeeva G. V., Livanova S. V. *Khimiya i tekhnologiya topliv i masel*. 2003. No. 3. Pp. 52–53.
- Gorelyshev N. V., Guryachkov I. L., Pinus E. R. *Materialy i izdeliya dlya stroitel'stva dorog: spravochnik [Materials and products for road construction: reference book]*. Moscow: Transport, 1986.
- Polyakova S. V. *Nauka i tekhnika v dorozhnoi otrasli*. 1999. No. 1. Pp. 19–21.
- Kiselev V. P., Efremov A. A., Bugaenko M. B., Gur'ev D. L., Kemenev N. V., Filimonov V. S. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2010. No. 4. Pp. 129–138.

Received 03.09.2018.