



УДК: 625.7/8

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МОДИФИКАЦИИ БИТУМА

Г.В. Проваторова

Галина Владимировна Проваторова
E-mail: asf.inst@yandex.ru

Кафедра «Автомобильные дороги», Владимирский
государственный университет, ул. Горького, 87, Владимир,
Российская Федерация, 600000

В работе дается обоснование актуальности использования вторичных материалов и разного рода полимерных отходов, приводится информация по объемам пластиковых отходов и основным направлениям их переработки и утилизации. Изложена возможность получения добавок в дорожный битум при утилизации отходов пластика, причем как бытовых, так и промышленных производств. Изложена методика модификации битума, которые станут после введения в их структуру более устойчивыми к агрессивным условиям окружающей среды, обладателями улучшенных свойств, в частности, пониженной температуры хрупкости, повышенной температуры размягчения, а следовательно, повышенной трещиностойкости и сдвигоустойчивости асфальтобетона.

Ключевые слова: битум, добавки, РЕТ, эмульсионно-минеральные смеси, битумо-минеральные смеси, модификатор, отходы пластики и полимеров

Для цитирования:

Проваторова Г.В. Экологические аспекты модификации битума. Умные композиты в строительстве. 2021. Т. 2. Вып. 1. С. 47-52 URL: http://comincon.ru/index.php/tor/V2N1_2021

DOI: 10.52957/27821919_2021_1_47



UDC: 625.7/8

ENVIRONMENTAL ASPECTS OF BITUMEN MODIFICATION

G.V. Provatorova

Galina V. Provatorova
E-mail: asf.inst@yandex.ru

Department of Automobile Roads, Vladimir State University, Gorkogo st.,
87, Vladimir, Russia, 600000

The paper reflects the relevance of recycled materials and various polymer waste, provides information on the amount of plastic waste and the main directions of recycling and disposal. The paper outlines the ways to introduce additives in road bitumen during the plastic waste recycling, both domestic and industrial production. The paper provides the methods for bitumen modifications which becomes more resistant to aggressive environmental conditions and obtains new improved properties such as a lower temperature of embrittlement, a higher temperature of softening, and consequently, a higher resistance to cracking and shear stability of asphalt concrete.

Key words: bitumen, additives, PET, emulsion-mineral mixtures, bitumen-mineral mixtures, modifier, plastic and polymer waste

For citation:

Provatorova G.V. Environmental aspects of bitumen modification. *Smart Composite in Construction*. 2021. V. 2. No 1. P. 47-52 URL: http://comincon.ru/index.php/tor/V2N1_2021

DOI: 10.52957/27821919_2021_1_47



ВВЕДЕНИЕ

Вопросы применения вторичных материалов в настоящий момент времени являются крайне актуальными. Они позволяют улучшить долговечность строительных конструкций, продлить строительный сезон, а также способствуют созданию изделий с более легкой и надежной конструкцией.

В последнее время все больше внимания уделяется проблемам утилизации различных отходов. Различные крупные организации и корпорации как исследовательские, так и производственные активно вовлечены в изучение и получение новых свойств при изготовлении строительных материалов.

Необходимость постоянного повышения качества выпускаемых строительных изделий и материалов в последнее время является важнейшей задачей. Так, непрерывный рост транспортных нагрузок на автомобильных дорогах, возрастающие нагрузки на строительные конструкции, влияние агрессивных сред в процессе работы конструкций приводят к снижению сроков службы и эксплуатации и увеличению износа и разрушающих воздействий [1, 5-7].

В рамках представленной работы проводились исследования направленные на изучение свойств органоминеральных смесей и материалов, применяемых для их изготовления. Подробно рассматривались бытовые и промышленные отходы, перспективность применения которых в дорожном строительстве очень высока.

Утилизация большинства различных отходов, и в частности отходов из разного рода пластиков, становится более насущной и актуальной. Количество выпускаемой на рынок продукции из вторичного полиэтилентерефталата (PET) ежегодно увеличивается. Так, при производстве новых изделий из полиэтилентерефталата действует требование о необходимости обязательного использования вторичного полиэтилентерефталата. Без этого выпуск новой продукции становится невозможен. Поэтому вопрос переработки вторичного полиэтилентерефталата остро стоит в мире. Одной из наиболее перспективных отраслей для применения вторичного полиэтилентерефталата (PET) является дорожное строительство, и в частности модификация дорожных битумов.

Вторичная переработка полиэтилентерефталата (PET), как показывает практика, является относительно легкой задачей. Широкие возможности использования отходов полиэтилентерефталата, его технологичность и свойства сделали этот материал самым перерабатываемым во всем мире. Так по результатам исследований еще в 2013 году выпуск полиэтилентерефталата (PET) для изготовления пластиковых бутылок составил более 20 млн тонн. Проведенные статистические исследования показывают, что общее количество произведенной продукции из полиэтилентерефталата уже сейчас превышает 500 млрд шт. Такое огромное количество изделий из полиэтилентерефталата создает проблемы с загрязнением окружающей среды, включая прибрежные зоны мирового океана. Отходы из бутылок могут свободно мигрировать в мировом океане и даже образовывать целые острова. При этом их полная инертность и безопасность не компенсирует тех проблем, которые возникают от их бурного накопления. Также известно, что

повторная переработка 1 тонны полиэтилентерефталата (PET) способствует значительной экономии территории полигонов под складирование промышленных и бытовых отходов.

Второй не менее актуальной задачей является борьба, направленная на снижение выбросов углекислого газа CO₂ в атмосферу земли. Проблемы глобального потепления напрямую связаны с выбросами углекислого газа. Решение вопросов переработки вторичного полиэтилентерефталата (PET) будет также способствовать значительному сокращению выбросов CO₂ в атмосферу. Отличительной особенностью последнего времени является и тот факт, что цена на вторичный полиэтилентерефталат (PET) в большинстве стран мира очень высока. Так она может составлять до 70–80% от стоимости первичного полиэтилентерефталата.

В последние годы со стороны общественности все больше внимания уделяется вопросам экологии, и это, безусловно, способствует увеличению объемов переработки использованной тары из полиэтилентерефталата. По результатам исследований установлено, что ежегодно в мире собирается более 9 млн тонн отходов из полиэтилентерефталата, в том числе и с поверхности мирового океана. В настоящее время объемы производства из вторичного полиэтилентерефталата (PET) непрерывно увеличиваются.

В настоящее время объемы сбора и переработки вторичного полиэтилентерефталата (PET) в разных странах очень различаются. Если в странах Востока объемы раздельного сбора мусора и бутылок, изготовленных из полиэтилентерефталата, составляют около 80%, в европейских странах от 50 до 70%, то в Восточной Европе, и в первую очередь в нашей стране, этот показатель находится в пределах 20%. Сегодня рынок PET-отходов составляет около 1,5 млн тонн. В Северной Америке собирается более 1,3 млн тонн, в Китае – более 3,0 млн тонн [16].

Переработка вторичного полиэтилентерефталата, из собранных отходов, в основном сконцентрирована на производстве штапельных волокон и при производстве нетканых синтетических материалов (до 70% от собранных отходов). Остальной объем переработанного отхода идет на производство различных пленок и бутылок пищевого и неп пищевого назначения. В последнее время к полиэтилентерефталату стали проявлять широкий интерес и дорожные организации. Это связано с наличием целого ряда полезных для дорожного битума свойств.

Таким образом, решение проблемы утилизации вторичного полиэтилентерефталата способствует и решению целого ряда экологических проблем, например, вторичный полиэтилентерефталат может эффективно использоваться для получения новых материалов с новыми свойствами для всей строительной отрасли.

Одной из важнейших особенностей полиэтилентерефталата является сочетание высокой механической прочности с водостойкостью, хорошими диэлектрическими свойствами в широком интервале температур (от –20 до 80 °С). Хрупкость не проявляется даже при –50 °С и полиэтилентерефталат можно использовать до температуры 175 °С. Пластики PET ламинированные (ТУ 49-5761783-334-90) получают непрерывным методом путем нанесения расплавленного полиэтилена низкой плотности на полиэтилентерефталатную основу [2, 3, 12].



Самым распространенным и, как правило, наиболее экономичным является механико-химический метод переработки измельченных и очищенных отходов PET, представляющий собой технологическую цепочку, в соответствии с которой они последовательно плавятся, гомогенизируются, очищаются от загрязнений и фильтруются в экструдере с дегазацией под вакуумом. Развиваются новые направления рециклинга полиэтилентерефталата (PET). Для решения задач рециклинга проводятся исследования в качестве модифицирующей добавки в битум.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Введение в структуру вяжущего различных модифицирующих и полимерных добавок способствует значительному изменению физико-механических свойств и изменяет структуру вяжущего, оказывая пластифицирующее воздействие на дисперсионную среду. При этом компоненты системы битум-полимер вступают между собой в химическое взаимодействие. В результате образуется единая пространственная структура полимерно-битумного вяжущего [3, 4, 17].

Как показывают последние исследования, интерес в полимерно-битумному и модифицированному вяжущему значительно возрастает, что, прежде всего, связано с введением в действие ГОСТов нового поколения. Испытания асфальтобетона, приготовленного по новым ГОСТам, показали, что нельзя получить нормативные значения гостовских показателей на традиционных битумах, особенно это касается испытания на колеобразование. При использовании стандартного немодифицированного вяжущего результаты испытаний показывают снижение эффективности при проведении испытаний на глубину колеи и разрушение образца при имитации приложения транспортных нагрузок.

Модифицирующие добавки действуют как армирующий элемент. При этом химическое взаимодействие отсутствует, но в системе битум-полимер образуются независимые пространственные структуры. Структурирующие добавки существенно повышают механические свойства и температурную устойчивость вяжущего.

Недостаточное сопротивление повышенным температурным воздействиям приводит к тому, что образцы разрушаются, и в пределах рабочих температур резко отличается прочность асфальтобетона [12-14]. Такой эффект в асфальтобетоне происходит из-за использования в качестве вяжущего битума. Поэтому изменяя свойства битума с целью повышения его теплостойкости, можно добиться необходимых свойств готовой асфальтобетонной смеси. Именно эту проблему мы и пытались решить, вводя в битум PET.

Физико-механические свойства полиэтилентерефталата (табл. 1) характеризуются высокой стабильностью в интервале температур от -50 до 200 °C. Вводя его в битум, можно понизить температуру хрупкости, повысить температуру размягчения, а, следовательно, повысить трещиностойкость и сдвигоустойчивость асфальтобетона.

Таблица 1. Физико-механические свойства PET
Table 1. Physical and mechanical properties of PET

№	Свойства	Значения
1	Плотность, кг/м ³	1380
2	Разрушающее напряжения, МПа	120-185
3	Относительное удлинение при разрыве, %	50-70
4	Ударная вязкость, кДж/м ²	70-90
5	Водопоглощение, %	0,3
6	Морозостойкость	-50
7	Температура плавления, °C	265
8	Молекулярная масса	15000-30000

Поскольку свойства битума и полиэтилентерефталата отличаются, основная сложность возникла в процессе введения пластика в битум. Если вводить полиэтилентерефталат непосредственно в битум, то длительное нагревание при высоких температурах полученной смеси способствует ускорению процесса старения битума и ухудшению эксплуатационных свойств уже готовой асфальтобетонной смеси.

Мы пошли по пути растворения предварительно измельченного пластика в подходящем растворителе, который, в свою очередь, хорошо совмещается с битумом. Так что при температуре 130 °C было получено полное растворение, при этом растворитель выделялся в виде нетоксичных паров.

Модификаторы вводили в битум БНД 60/90 следующим образом. Взяли навеску битума массой 50 грамм. К данному вяжущему добавляли модификаторы в соотношении $0,5\%$ по массе, $0,75\%$ по массе, $1,0\%$ по массе. После введения модифицирующих добавок измерили глубину проникания иглы при 25 и 0 °C, температуру размягчения по КнШ и растяжимость при 25 и 0 °C.

По результатам лабораторных исследований можно проанализировать изменение свойств модифицированного битума, после введения в него полиэтилентерефталата. У модифицированного битума повышается температура размягчения и снижается температура хрупкости. На основании полученных зависимостей рассчитывается требуемый объем пластика, играющего роль модификатора.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В ходе лабораторных исследований проверялись показатели проникновения иглы в вяжущее, температура размягчения по кольцу и шару, растяжимость и хрупкость. Результаты представлены в таблице 2.

Следует обратить особое внимание на изменение свойств вяжущего. В частности на увеличение температуры размягчения, а также снижение температуры хрупкости. Температуры хрупкости модифицированных битумов были определены из температурных зависимостей глубины проникания иглы в вяжущее. В результате проведенного анализа удалось установить зависимости, позволяющие определить оптимальное содержание полиэтилентерефталата, вводимого в битум в качестве модифицирующей добавки [2, 7, 8].

ВЫВОДЫ



Как говорилось выше, наибольшее распространение при изготовлении различной пищевой тары и промышленных пленок получил полиэтилентерефталат (PET). Это объясняется наличием у него уникальных свойств, таких как химическая стойкость, инертность, возможность повторного использования, что дает ему высокие конкурентные

преимущества по сравнению с другими крупнотоннажными полимерными материалами того же назначения.

В результате использования PET получаем возможность создания долговечного асфальтобетонного покрытия с наилучшими эксплуатационными свойствами, а также решение проблемы утилизации отходов.

Таблица 2. Сравнительный анализ модифицированных и немодифицированных битумов
Table 2. Comparative analysis of modified and unmodified bitumen

№ п/п	Наименование показателя	Добавка %	Ед. изм.	Битум модифицированный БНД 60/90				Немодиф. 60/90
				АЗОЛ-1001		PET		
1	Глубина проникания иглы, при 25 °С при 0 °С не менее	0,5	0,1 мм	85	24	83	22	83 22
		0,75		88	25	84	23	
		1,0		93	26	86	23	
2	Температура размягчения по кольцу и шару, не менее	0,5	°С	48		50		48
		0,75		50		52		
		1,0		51		53		
3	Растяжимость, не менее при 25 °С при 0 °С	0,5	см	99	3,5	101	3,5	97 3,5
		0,75		98	3,6	102	3,7	
		1,0		105	3,6	107	3,7	

ЛИТЕРАТУРА

1. **Проваторова Г.В., Лебедев В.В.** Повышение качества асфальтобетона путем модификации битума полимерами. Ежемесячный научный журнал Международного независимого института математики и систем «МиС». Новосибирск. 2014. № 8.
2. **Проваторова Г.В., Лебедев В.В.** Битум, модифицированный полимерами. Материалы Международной научно-технической конференции. Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии Беларусь, Могилев. 2013. В 2 ч. Ч. 2. Могилев, 2013.
3. **Проваторова Г.В.** Пути повышения качества дорожного битума. Материалы Международной научно-практической конференции «Строительство: проблемы и перспективы». Махачкала. 2013.
4. **Лебедев В.В., Проваторова Г.В.** Модификация битума полимерами. Материалы международной научно-практической конференции «Итоги строительной науки». Владимир. 2012.
5. **Vikhrev A.V., Provatorova G.V., Semekhin E.F., Varzin E.I.** Ways to improve the quality of organomineral mixtures. International Scientific Conference «SPbWOSCE. Energy efficiency and Sustainable Development in Civil Engineering». 2017. Санкт-Петербург, 2017.
6. **Al-Sabaeei A., Md. Yusof N.I., Napiah M., Sutanto M.** A review of using natural rubber in the modification of bitumen and asphalt mixtures used for road construction. Jurnal Teknologi. 2019. N 81(6). P. 81-88.
7. **Provatorova G., Vkhrev A.** Modification of Bitumen for Road Construction. IOP Conference. Series Materials Science and Engineering MPCPE. 2020. DOI: 10.1088/1757-899X/896/1/012088
8. **Handelsman I., Zakrevskay L., Provatorova G.** The influence of modified binders on the technological and operational properties of composite building materials. International Scientific Conference on Energy, Environmental and Construction Engineering (EECE-2018) electronic edition. «MATEC Web of Conferences». 2018. V. 245. N 8.
9. **Предтеченский М.Р.** Патент РФ № 2672417. 2018.
10. **Запорожкова И.В., Сипливый В.Н.** Патент РФ № 2515007. 2014.
11. **Shafabakhsh G.H., Sajadib S.R.** Evaluation of rheological behavior of bitumen modified with Nano Copper Oxide International. Journal of Engineering and Technology (UAE). 2018. N 7(4). P. 13-18.
12. **Gaus A., Darwis M., Imran.** Influence of hot asphalt mixture using asbuton on road composite pavement. AIP Conference



- Proceedings. (American Institute of Physics Inc.). 2017. V. 1903. 050007.
13. **Vyrozhemskiy V., Kopynets I., Kischynskiy S., Bidnenko N.** Epoxy asphalt concrete is a perspective material for the construction of roads. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. V. 236(1).
 14. **Król J.B., Niczke Ł., Kowalski K.J.** Towards understanding the polymerization process in Bitumen bio-fluxes. *Materials*. 2017. V. 10(9).
 15. **Appiah J.K., Berko-Boateng V.N., Tagbor T.A.** Use of waste plastic materials for road construction in Ghana. *Case Studies in Construction Materials*. 2017. V. 6. P. 1-7.
 16. **Syrmanova K.K., Botashev E.T., Tleuov D.B., Eshankulov A.A., Kaldybekova Zh.B.** Research of oil road bitumen modification with low density polyethylene. *Oriental Journal of Chemistry*. 2017. V. 33(1). P. 470-477
 9. **Predtechensky M.R.** Patent RU N 2672417. 2018. (in Russian).
 10. **Zaporotzkova I.V., Siplivy B. N.** Patent RU N 2515007. 2014. (in Russian).
 11. **Shafabakhsh G.H., Sajadib S.R.** Evaluation of rheological behavior of bitumen modified with Nano Copper Oxide International. *Journal of Engineering and Technology (UAE)*. 2018. N 7(4). P. 13-18.
 12. **Gaus A., Darwis M., Imran.** Influence of hot asphalt mixture using asbuton on road composite pavement. *AIP Conference Proceedings. (American Institute of Physics Inc.)*. 2017. V. 1903. 050007.
 13. **Vyrozhemskiy V., Kopynets I., Kischynskiy S., Bidnenko N.** Epoxy asphalt concrete is a perspective material for the construction of roads. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. V. 236(1).
 14. **Król J.B., Niczke Ł., Kowalski K.J.** Towards understanding the polymerization process in Bitumen bio-fluxes. *Materials*. 2017. V. 10(9).
 15. **Appiah J.K., Berko-Boateng V.N., Tagbor T.A.** Use of waste plastic materials for road construction in Ghana. *Case Studies in Construction Materials*. 2017. V. 6. P. 1-7.
 16. **Syrmanova K.K., Botashev E.T., Tleuov D.B., Eshankulov A.A., Kaldybekova Zh.B.** Research of oil road bitumen modification with low density polyethylene. *Oriental Journal of Chemistry*. 2017. V. 33(1). P. 470-477.

Поступила в редакцию 26.02.2021
Принята к опубликованию 15.03.2021

REFERENCES

1. **Provatorova G.V., Lebedev V.V.** Improving the quality of asphalt concrete by modifying bitumen with polymers. *Ezhemesyachnyy nauchnyy zhurnal Mezhdunarodnogo nezavisimogo instituta matematiki i sistem «MiS»*. Novosibirsk. 2014. N 8. (in Russian).
2. **Provatorova G.V., Lebedev V.V.** Bitumen modified by polymers. *Proceedings of the International Scientific and Technical Conference «Materials, Equipment and Resource-saving Technologies»*. Belarus, Mogilev. 2013. In 2 p. Part 2. Mogilev. 2013. (in Russian).
3. **Provatorova G.V.** Ways to improve the quality of road bitumen. *Proceedings of the International Scientific and Practical conference «Construction: Problems and Prospects»*. Makhachkala. 2013. (in Russian).
4. **Lebedev V.V., Provatorova G.V.** Modification of bitumen by polymers. *Proceedings of the international research Conference «Results of Construction Science»*. Vladimir. 2012. (in Russian).
5. **Vikhrev A.V., Provatorova G.V., Semekhin E.F., Varzin E.I.** Ways to improve the quality of organomineral mixtures. *International Scientific Conference «SPbWOSCE. Energy efficiency and Sustainable Development in Civil Engineering»*. 2017. Saint-Petersburg. 2017.
6. **Al-Sabaei A., Md. Yussof N.I., Napiah M., Sutanto M.** A review of using natural rubber in the modification of bitumen and asphalt mixtures used for road construction. *Jurnal Teknologi*. 2019. N 81(6). P. 81-88.
7. **Provatorova G., Vikhrev A.** Modification of Bitumen for Road Construction. IOP Conference. Series Materials Science and Engineering MPCPE. 2020. DOI: 10.1088/1757-899X/896/1/012088
8. **Handelsman I., Zakrevskay L., Provatorova G.** The influence of modified binders on the technological and operational properties of composite building materials. *International Scientific Conference on Energy, Environmental and Construction Engineering (EECE-2018) electronic edition. «MATEC Web of Conferences»*. 2018. V. 245. N 8.

Received 26.02.2021

Accepted 15.03.2021