



УДК 691.17

Эффективный модификатор асфальтобетонов на основе пластиковых отходов

Д.В. Бессонов¹, М.Д. Бессонов²

Дмитрий Владиславович Бессонов

¹ТОО «ПП Автодор», г. Алматы, Республика Казахстан

Михаил Дмитриевич Бессонов

²Университет Глазго, Глазго, Великобритания

E-mail: dima19-65@mail.ru



Статья посвящена исследованию возможности получения эффективных полимерных модификаторов для асфальтобетонных смесей на основе полимерных бытовых отходов. Приведены результаты лабораторных испытаний составов полимерасфальтобетонов для покрытий автодорог, а также сравнительные испытания щебеночно-мастичных полимерасфальтобетонов с различными модификаторами.

Ключевые слова: полимерасфальтобетон, полимерная модифицирующая добавка, щебеночно-мастичный полимерасфальтобетон, полимер-битумные вяжущие, полиэтилен, полипропилен, полистирол, полиэтилентерефталат

Для цитирования:

Бессонов Д.М., Бессонов М.Д. Эффективный модификатор асфальтобетонов на основе пластиковых отходов. *Умные композиты в строительстве*. 2021. Т. 2. №. 4. С. 74-83 URL: http://comincon.ru/index.php/tor/V2N4_2021

DOI: 10.52957/27821919_2021_4_74



Effective asphalt concrete modifier based on plastic waste

D.V. Bessonov¹, M.D. Bessonov²

Dmitry V. Bessonov

¹ТОО «PP Avtodor», Almaty, Kazakhstan

Mikhail D. Bessonov

²University of Glasgow, Glasgow, Great Britain

E-mail: dima19-65@mail.ru



The article studies the possibility of obtaining effective polymer modifiers for asphalt mixtures that are based on polymeric household waste. The results of laboratory tests of polymer-asphalt concrete compositions for road coatings, as well as results of comparative tests of crushed stone mastic polymer asphalt concrete with various modifiers are provided. Test results confirm the effectiveness of the CPDA® additive and the possibility of its use in the production of stone mastic polymer asphalt mixes.

Key words: polymer asphalt concrete, polymer modifying additive, stone mastic polymer asphalt concrete, polymer bitumen binders, polyethylene, polypropylene, polystyrene, polyethylene terephthalate

For citation:

Bessonov, D.V., Bessonov, M.D. Effective asphalt concrete modifier based on plastic waste. *Smart Composite in Construction*. 2021. Vol. 2. No 4. P. 74-83 URL: http://comincon.ru/index.php/tor/V2N4_2021

DOI: 10.52957/27821919_2021_4_74



ВВЕДЕНИЕ

Одним из результатов антропогенной деятельности является образование отходов, среди которых отходы пластмасс занимают особое место. В среднем в мире 12% всех муниципальных отходов приходится на долю пластика, а по данным на 2016 год, в мире было произведено 242 млн. т таких отходов [1]. В некоторых развитых странах использование пластика превышает 100 кг на человека в год [2]. Проблема переработки отходов полимерных материалов актуальна не только с позиций охраны окружающей среды, но и связана с тем, что в условиях дефицита полимерного сырья пластмассовые отходы становятся мощным сырьевым и энергетическим ресурсом. При этом объемы утилизации полимерных отходов все еще недостаточны. В Европейских странах по данным на 2018 год всего треть пластика была переработана во вторичные полимеры (32,5%), 42,6% было утилизировано путем сжигания для производства электрической или тепловой энергии [3]. При этом сжигание пластика приводит к повышенной экологической нагрузке из-за образования парниковых газов. Оставшиеся 24,9% складываются на полигонах ТБО. Открытые полигоны опасны влиянием на качество воздуха, засорением стоков в результате наводнений, а в особенности загрязнением близлежащих водоемов. Микропластик (частицы размером < 5 мм), образующийся в результате распада пластикового мусора, повсеместно встречается в почве, пресных водоемах и океанах, был выявлен в органах и тканях более 600 видов фауны [2]. Созданное положение связано со специфическими особенностями пластмасс, значительно затрудняющими или делающими непригодными известные методы уничтожения твердых отходов.

В то же время объем пассажирского движения и грузоперевозок, осуществляемых автотранспортом, ежегодно увеличивается. По результатам моделирования грузоперевозок, в странах ЕС предполагается их увеличение к 2050 году на 57% по сравнению с 2010 г. [4]. Улучшение качества асфальтобетонных покрытий и повышение их эксплуатационного ресурса является актуальной задачей. Одним из методов, который может значительно улучшить качество покрытий, является добавление полимеров к асфальтобетонным смесям [5].

В этой связи становится актуальным вопрос разработки технологии использования полимерных отходов в материалоемких отраслях, одной из которых является дорожное строительство.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Практически все широко используемые на сегодняшний день полимерные модификаторы битума, за исключением продуктов переработки резинотехнических изделий, представлены специально синтезированными продуктами химического производства [6]. Это обуславливает их высокую стоимость, а химическая природа модификаторов накладывает ряд дополнительных технологических требований и ограничений, что в целом увеличивает стоимость модифицированных асфальтобетонных смесей и является фактором, сдерживающим их использование при устройстве покрытий. Ряд проведенных исследовательских работ подтвердил возможность использования различных полимерных соединений, широко применяемых для выпуска изделий бытового назначения и упаковочных материалов [7–10], для модификации битума и получения асфальтобетонных смесей с улучшенными эксплуатационными характеристиками.



При утрате потребительских свойств изделиями из пластмасс химический состав и свойства полимеров практически не меняются. Учитывая вышеизложенное, представляется целесообразной разработка технологии модификации асфальтобетонных смесей добавками на основе полимерных отходов. Принимая во внимание уровень развития и оснащенности современных асфальтобетонных заводов, целесообразно использовать добавку по «сухой» технологии, что значительно упрощает технологические процессы производства асфальтобетонных смесей.

Для решения поставленной задачи Авторами было исследовано влияние различных полимеров на нормируемые параметры асфальтобетонных смесей и асфальтобетонов на их основе. Проведенная работа позволила разработать состав и определить оптимальное количество комплексной полимерной дисперсно-армирующей добавки (КПДА®) для модификации асфальтобетонных смесей [11, 12]. Добавка представляет собой смесь агломерированных полимеров различной природы и химического состава, получаемых из бытовых или производственных полимерных отходов, взятых в оптимальных соотношениях. Технология введения добавки заключается в ее предварительном дозировании и введении непосредственно в смеситель асфальтобетонного завода на каменный материал, разогретый до 180–190 °С, перед подачей битума. Для достижения оптимальных результатов добавляется 10–15 с дополнительного времени перемешивания добавки с каменными материалами, затем в смеситель вводится битум и производится окончательное перемешивание смеси. Оптимальное количество вводимой добавки составляет от 2 до 3% от массы битума. Введение меньшего или большего количества добавки приводит к снижению показателей свойств полимерасфальтобетона. Результаты испытаний полимерасфальтобетона приведены в табл. 1.

Табл. 1. Свойства полимерасфальтобетона*, модифицированного добавкой КПДА®

Table 1. Properties of polymer asphalt concrete* modified with CPDA® additive

Наименование показателя	Требования по НД**	Фактические показатели
Остаточная пористость	2,5-5%	3,27
Средняя плотность, (г/см ³)	Не норм.	2,36
Предел прочности при сжатии:		
- при 50 °С	Не менее 1,8 МПа	2,18
- при 20 °С	Не норм.	4,32
- при 0 °С	Не более 9,0 МПа	8,75
Пористость минеральной части	Не более 19,0%	15,73
Водонасыщение по объему	1,5-3,0%	3,5
Коэффициент водостойкости	Не менее 0,9	0,94
Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении	Не менее 0,8	0,88

*Смесь мелкозернистая (до 20 мм) тип Б, на битуме БНД 60/70.

**СТ РК 1223-2013 «Смеси полимерасфальтобетонные дорожные, аэродромные и полимерасфальтобетон».

Проведены сравнительные испытания образцов из щебеночно-мастичного полимерасфальтобетона, полученных на основе полимербитумного вяжущего ПБВ60, с применением мо-



диффикатора BUTONAL NS198 и полимерного модификатора КПДА®. Количество модификаторов принималось в соответствии с действующими нормативными документами. Результаты испытаний приведены в табл. 2.

Табл. 2. Результаты испытаний щебеночно-мастичного полимерасфальтобетона, модифицированного различными полимерными модификаторами

Table 2. Tests of crushed stone mastic polymer asphalt concrete with various polymer modifiers

Наименование показателя	Требования по НД	Фактические показатели для составов*		
		№ 1	№ 2	№ 3
Пористость минеральной части, %	От 15 до 19	15,2	15,4	15,5
Остаточная пористость, %	От 2 до 4,5	4,02	4,12	4,14
Водонасыщение по объему, %	От 1 до 4,0	2,8	2,9	3,0
Предел прочности при сжатии, МПа: - при 20 °С - при 50 °С	Не менее 2,8 Не менее 1,0	4,06 1,4	4,01 1,5	3,97 1,6
Трещиностойкость, предел прочности при расколе МПа, при температуре 0 °С	Не более 6,5 Не менее 3,0	3,2	3,5	3,9
Водостойкость при длительном водонасыщении	Не менее 0,85	0,89	0,9	0,95
Стекание вяжущего, %	Не более 0,2	0,09	0,1	0,1
Средняя плотность уплотненной смеси, г/см ³	Не норм.	2,34	2,34	2,34

*Состав № 1 – щебеночно-мастичный полимерасфальтобетон на ПБВ 60; состав № 2 – щебеночно-мастичный полимерасфальтобетон на битуме БНД 60/90, модифицированный добавкой BUTONAL NS198 в количестве 3% от массы битума; состав № 3 – щебеночно-мастичный полимерасфальтобетон на битуме БНД 60/90, модифицированный добавкой КПДА® в количестве 2,5% от массы битума.

Образцы добавки КПДА® были предоставлены в подрядные организации, где в аттестованных лабораториях были проведены подборы составов щебеночномастичного полимерасфальтобетона ЦМА20 с применением каменных материалов из различных карьеров. Результаты испытаний в сравнении с результатами Авторов представлены в табл. 3.

Табл. 3. Свойства щебеночно-мастичного полимерасфальтобетона*, модифицированного добавкой КПДА®

Table 3. Properties of crushed stone mastic polymer asphalt concrete* modified with CPDA® additive

Наименование показателя	Требования по НД**	Фактические показатели		
		ТОО «КазГерСтрой»	ТОО «АКМ»	ТОО «К-Дорстрой»
Водонасыщение по объему	1-4%	3,5	3,7	3,02
Средняя плотность, г/см ³	Не норм.	2,35	2,39	2,51
Предел прочности при сжатии:				



- при 50 °С	Не менее 1,0 МПа	1,2	1,4	1,2
- при 20 °С	Не менее 2,8 МПа	3,7	3,8	3,1
Трещиностойкость (предел прочности при расколе при 0 °С)	От 3,0 до 6,5 МПа	3,4	4,4	3,7
Водостойкость при длительном водонасыщении	Не менее 0,85	0,95	0,92	0,9
Коэффициент внутреннего трения	Не менее 0,94	0,96	0,97	-
Сцепление при сдвиге	Не менее 0,25	0,32	0,33	-
Пористость минеральной части	15-19%	16,2	-	16,6
Остаточная пористость	2-4,5%	3,0	3,63	3,6
Стекание	Не более 0,2	0,08	0,18	0,12
Марка битума	-	БНД100/110	БНД70/100	БНД70/100
Расход битума, % мас. (сверх 100%)	-	5,2	5,2	5,3

*Полимермодифицированная смесь ШМА-20 на битуме БНД 70/100, стабилизирующая добавка «Хризопро». По результатам подбора оптимальное количество битума составило 5,2%, добавки «Хризопро» 0,2%.

**СТ РК 2373-2013 «Смеси щебеночно-мастичные полимерасфальтобетонные аэродромные и щебеночно-мастичный полимерасфальтобетон. Технические условия».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные экспериментальные результаты свидетельствуют, что разработанная добавка КПДА® на основе полимерных бытовых отходов улучшает физико-механические показатели асфальтобетонных смесей и асфальтобетонов на их основе. Технология применения разработанной добавки максимально проста, не требует применения специального оборудования, может быть использована практически на любых серийных асфальтобетонных установках. Эффект от использования добавки сопоставим с эффективностью использования полимербитумного вяжущего заводского изготовления, а также с европейскими продуктами. Результаты независимых испытаний подтверждают эффективность добавки КПДА® и возможность ее широкого использования при производстве всех видов и типов полимерасфальтобетонных смесей.

ВЫВОДЫ

1) На основе полимерных бытовых отходов получена эффективная полимерная модифицирующая добавка для горячих асфальтобетонных смесей всех типов и марок.



2) Применение полимерных бытовых отходов в качестве основного сырьевого компонента для производства добавки позволяет наладить ее производство в любых регионах, где имеются такие отходы.

3) Повышение физико-механических характеристик асфальтобетонов позволит увеличить срок безремонтной эксплуатации покрытий автомобильных дорог.

4) Применение добавки в дорожном строительстве позволит утилизировать значительные объемы пластикового мусора и оздоровить экологическую обстановку в местах его образования и хранения.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Kaza S., Yao L., Bhada-Tata P., Van Woerden F.** What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050. The World Bank, 2018. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/What-a-Waste-2.0%3A-A-Global-Snapshot-of-Solid-Waste-Kaza-Yao/acb6d250d15cf366964535caa53c343cf66cfc04>
2. **Lebreton L., Andrady A.** Future scenarios of global plastic waste generation and disposal. Palgrave Communications. 2019. V. 5(1). P. 1-11.
3. Plastics – the Facts 2019: An analysis of European plastics production, demand and waste data. Plastics Europe. 2019. AISBL, Brussels, Belgium. URL: <https://www.plasticseurope.org/en/resources/publications/1804-plastics-facts-2019>
4. **Capros P.** et al. (2016). Energy, transport and GHG emissions Trends to 2050. EU Reference Scenario 2016. European Commission, Belgium. URL: http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/13656/1/REF2016_report_FINAL-web.pdf
5. **Becker Y., Mendez M.P., Rodriguez Y.** Polymer Modified Asphalt. Vision Tecnologica. 2001. V. 9. N 1. P. 39-50.
6. **Соломенцев А.Б.** Классификация и номенклатура модифицирующих добавок для битумов. Наука и техника в дорожной отрасли. 2008. № 1. С. 14-16.
7. **Garcia-Morales M., Partal P., Navarro F.J., Gallegos C.** Effect of waste polymer addition on the rheology of modified bitumen. Fuel. 2006. V. 85. P. 936-943.
8. **Hınıslođlu S., Ađar E.** Use of waste high density polyethylene as bitumen modifier in asphalt concrete mix. Materials Letters. 2004. V. 58. N 3-4. P. 267-271.
9. **Casey D., McNally C., Gibney A., Gilchrist M.D.** Development of a recycled polymer modified binder for use in stone mastic asphalt. Resources Conservation and Recycling. 2008. V. 52. N 10. P. 1167-1174.
10. **Ahmadinia E., Zargar M., Karim M.R., Abdelaziz M., Ahmadinia E.** Performance evaluation of utilization of waste Polyethylene Terephthalate (PET) in stone mastic asphalt. Construction and Building Materials. 2012. V. 36. P. 984-989.
11. Асмагулаев Б.А., Асмагулаев Н.Б., Амирханов Ж.А., Бессонов Д.В. Патент Республики Казахстан № 3419 от 20.04.2018.
12. Асмагулаев Б.А., Асмагулаев Н.Б., Амирханов Ж.А., Бессонов Д.В. Патент Республики Казахстан № 3607 от 16.08.2018.

Поступила в редакцию 22.11.2021

Принята к опубликованию 30.11.2021



REFERENCES

1. **Kaza S., Yao L., Bhada-Tata P., Van Woerden F.** What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050. The World Bank, 2018. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/What-a-Waste-2.0%3A-A-Global-Snapshot-of-Solid-Waste-Kaza-Yao/acb6d250d15cf366964535caa53c343cf66cfc04>
2. **Lebreton L., Andrady A.** Future scenarios of global plastic waste generation and disposal. Palgrave Communications. 2019. V. 5(1). P. 1-11.
3. Plastics – the Facts 2019: An analysis of European plastics production, demand and waste data. Plastics Europe. 2019. AISBL, Brussels, Belgium. URL: <https://www.plasticseurope.org/en/resources/publications/1804-plastics-facts-2019>
4. **Capros P.** et al. (2016). Energy, transport and GHG emissions Trends to 2050. EU Reference Scenario 2016. European Commission, Belgium. URL: http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/13656/1/REF2016_report_FINAL-web.pdf
5. **Becker Y., Mendez M.P., Rodriguez Y.** Polymer Modified Asphalt. Vision Tecnologica. 2001. V. 9. N 1. P. 39-50.
6. **Solomentsev A.B.** Classification and nomenclature of modifying additives for bitumen. Nauka i tekhnika v dorozhnoj otrasli. 2008. N 1. P. 14-16 (in Russian).
7. **Garcia-Morales M., Partal P., Navarro F.J., Gallegos C.** Effect of waste polymer addition on the rheology of modified bitumen. Fuel. 2006. V. 85. P. 936-943.
8. **Hınıslođlu S., Ađar E.** Use of waste high density polyethylene as bitumen modifier in asphalt concrete mix. Materials Letters. 2004. V. 58. N 3-4. P. 267-271.
9. **Casey D., McNally C., Gibney A., Gilchrist M.D.** Development of a recycled polymer modified binder for use in stone mastic asphalt. Resources Conservation and Recycling. 2008. V. 52. N 10. P. 1167-1174.
10. **Ahmadinia E., Zargar M., Karim M.R., Abdelaziz M., Ahmadinia E.** Performance evaluation of utilization of waste Polyethylene Terephthalate (PET) in stone mastic asphalt. Construction and Building Materials. 2012. V. 36. P. 984-989.
11. **Asmatulaev B.A., Asmatulaev N.B., Amirkhanov Zh.A., Bessonov D.V.** Patent of the Republic of Kazakhstan N 3419 of 20.04.2018 (in Russian).
12. **Asmatulaev B.A., Asmatulaev N.B., Amirkhanov Zh.A., Bessonov D.V.** Patent of the Republic of Kazakhstan N 3607 of 16.08.2018 (in Russian).

Received 22.11.2021

Accepted 30.11.2021