

## МОДИФИКАЦИЯ НЕФТЯНЫХ ДОРОЖНЫХ БИТУМОВ ПОЛИМЕРНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ С ПОВЫШЕННЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

**П. С. Беляев, Д. Л. Полушкин, П. В. Макеев, В. А. Фролов**

*Кафедра «Переработка полимеров и упаковочное производство»,  
ФГБОУ ВО «ТГТУ»; polymers@asp.tstu.ru*

**Ключевые слова:** асфальтобетонная смесь; модификация дорожного вяжущего; полимерно-битумное вяжущее; полиэтилен; термоэластопласт.

**Аннотация:** Проведены исследования по модификации нефтяных битумов полимерными материалами. В целях улучшения качественных показателей получаемого дорожного вяжущего. В качестве полимерных материалов использованы отходы полиэтилена и термоэластопласт ДСТ-30-01. Для улучшения адгезионных свойств получаемого полимерно-битумного вяжущего с минеральными наполнителями использована адгезионная добавка «Амдор-10». Определен состав комплексного модификатора для нефтяных дорожных битумов, включающий термоэластопласт, отходы полиэтилена и поверхностно-активную адгезионную добавку. Проведена оценка физико-механических показателей асфальтобетонной смеси, полученной с использованием полимерно-битумного вяжущего на основе разработанного комплексного модификатора. Установлено, что введение в асфальтобетон полученного полимерно-битумного вяжущего способствует улучшению его физико-механических характеристик. Использование отходов термопласта обеспечивает снижение себестоимости полимерно-битумного вяжущего по сравнению с аналогами.

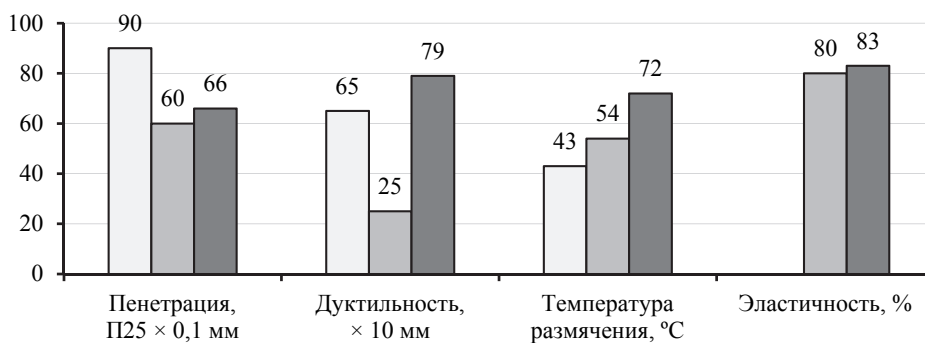
---

В настоящее время важным объектом для Российской Федерации являются автомобильные дороги, так как они связывают обширную территорию страны, по ним осуществляют автомобильные пассажирские и грузовые перевозки. В России в связи с большими сезонными перепадами температур, ежегодно возрастающей транспортной нагрузкой, низким качеством применяемых дорожных вяжущих существуют серьезные проблемы с дорожным покрытием. Использование материалов с низкими эксплуатационными характеристиками в дорожном строительстве приводит к тому, что на третий-четвертый годы эксплуатации большинства дорог требуется проведение капитального ремонта. При соблюдении технологии укладки низкая долговечность дорожных покрытий обусловлена качественными показателями дорожного вяжущего, входящего в состав асфальтобетона. Поэтому повышение эксплуатационных показателей дорожных покрытий можно обеспечить улучшением качества дорожных вяжущих [1 – 7].

Одним из направлений улучшения качества дорожных вяжущих является их модификация полимерными материалами, позволяющая улучшить адгезионные, прочностные и деформационные характеристики, что в свою очередь способствует улучшению эксплуатационных характеристик дорожного полотна. Наиболее часто применяемыми полимерными материалами в дорожном строительстве являются эластомеры, термопласты и термоэластопласты (ТЭП). *Эластомеры* – полимеры, обладающие в диапазоне эксплуатации высокоэластичными свойствами. Введение в дорожное вяжущее эластомеров приводит к появлению эластичности у битума, повышая тем самым деформационные свойства асфальтобетона в широком диапазоне эксплуатационных температур, но не способствует увеличению температуры размягчения. *Термопласты* – полимеры, способные многократно размягчаться при нагревании и отвердевать при охлаждении. Они модифицируют битум, создавая в нем жесткую пространственную сетку, сопротивляющуюся деформированию, повышают эластичность, когезию и адгезионные свойства, снижают хрупкость вяжущего при отрицательных температурах. Данный класс полимеров недостаточно эластичный и трещиностойкий при низких отрицательных температурах. *Термоэластопласты* представляют собой гранулированные или порошкообразные аморфные полимеры линейного или разветвленного строения, молекулы которых содержат мономерные звенья или блоки бутадиена и стирола, беспорядочно или статистически расположенные в цепи. Полимерно-битумное вяжущее (ПБВ), полученное модификацией ТЭП дорожного вяжущего, отличается от битума наличием пространственной эластичной структурной сетки из макромолекул полимера, которая придает ему высокую прочность и одновременно эластичность. Это обеспечивает возможность повысить деформационную устойчивость асфальтобетона в широком диапазоне эксплуатационных температур, существенно повысить долговечность покрытий, особенно в условиях с резко континентальным климатом. Применение данных материалов при модификации нефтяного дорожного битума приводит к удорожанию полученного ПБВ, что в свою очередь способствует повышению стоимости асфальтобетона. Одним из выходов из данной ситуации является получение комплексного модификатора путем замены дорогостоящих полимерных материалов, используемых при модификации дорожного вяжущего, на более дешевые отходы полимерной тары и упаковки.

Цель исследования – разработка рецептуры комплексного модификатора на основе ТЭП типа ДСТ-30-01, отходов полиэтилена (ПЭ) и поверхностно активной адгезионной добавки (ПААД) и его совмещения с нефтяными битумами для получения асфальтобетонных покрытий с повышенными эксплуатационными характеристиками. Вместе с тем использование отходов ПЭ при модификации нефтяного дорожного битума позволяет решить проблему утилизации загрязненных полимерных отходов, ежегодно скапливающихся на мусороперерабатывающих заводах. Термоэластопласт бутадиен-стирольный ДСТ, представляет собой продукт блоксополимеризации стирола и бутадиена в растворе углеводородов в присутствии литийорганического катализатора. Содержание связанного стирола составляет 27 – 31 %. В качестве ПААД использовали адгезионную дорожную добавку марки «Амдор-10», которая является усовершенствованным аналогом добавки «Амдор-9», представляет собой смесь полиаминоамидов и полиаминоимидазолинов и отличается от нее меньшей вязкостью и более низкой температурой потери текучести. Введение «Амдора-10» приводит к снижению поверхностного натяжения на границе раздела «битум – минеральный материал» и, как следствие, значительному увеличению адгезии битума к минеральному материалу как основной, так и кислой природы [8 – 15].

Для получения ПБВ с использованием комплексного модификатора разработана лабораторная установка на базе лопастного смесителя периодического действия, рабочие органы которого позволяют создавать интенсивные вертикальные и горизонтальные потоки материала в корпусе, что обеспечивает более высокое

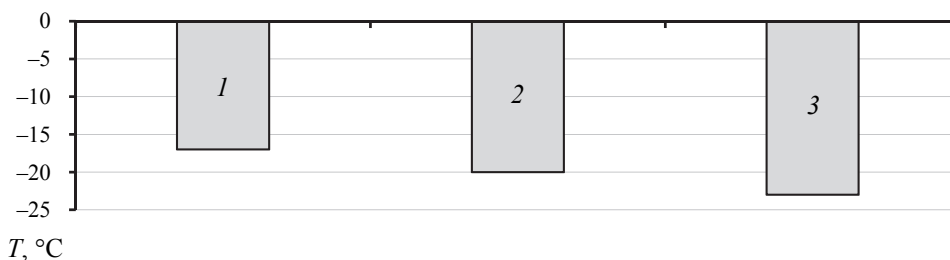


**Рис. 1. Физико-механические показатели дорожного вяжущего, модифицированного комплексным модификатором на основе отходов ПЭ:**  
 □ – битум нефтяной дорожной марки БНД 90/130;  
 ■ – ПБВ 60 ГОСТ Р 52056–2003; ■ – БНД 90/130+ТЭП+ПЭ+ПААД

диспергирующее воздействие на материал. Принцип работы лабораторной установки следующий: в предварительно нагретый до 160 °С лабораторный смеситель периодического действия вводили разогретый битум нефтяной дорожной марки 90/130 и модифицирующие добавки – ТЭП типа ДСТ-30-01, отходы ПЭ и ПААД марки «Амдор-10», после чего происходил процесс модификации дорожного вяжущего при высоких скоростях вращения перемешивающего устройства. Марка нефтяного битума БНД 90/130 наряду с БНД 60/90 выбрана в связи с рекомендациями для использования во второй дорожно-климатической зоне, к которой относится Тамбовская область. В процессе модификации необходимо помимо придания ПБВ требуемых свойств обеспечить вязкость получаемого связующего, характерную для битума марки БНД 60/90. На рисунке 1 представлена диаграмма изменения физико-механических показателей дорожного вяжущего, модифицированного комплексным модификатором на основе отходов ПЭ, в сравнении с показателями для ПБВ 60 по ГОСТ Р 52056–2003.

Как видно из рисунка 1, введение в битум комплексного модификатора на основе ТЭП, отходов ПЭ и ПААД способствует увеличению температуры размягчения и появлению эластичности у полученного ПБВ по сравнению с исходным нефтяным битумом, что в свою очередь приводит к улучшению деформационных показателей асфальтобетонной смеси. Показатель пенетрации полученного ПБВ снижается, но удовлетворяет нормам для ПБВ 60 по ГОСТ Р 52056–2003.

На рисунке 2 представлены показатели температуры хрупкости по Фраасу исходного битума (1), ПБВ 60 ГОСТ Р 52056–2003 (2) и полученного ПБВ на основе комплексного модификатора (3).



**Рис. 2. Показатели температуры  $T$  хрупкости по Фраасу исходного битума (1), ПБВ 60 ГОСТ Р 52056–2003 (2) и полученного ПБВ на основе комплексного модификатора (3)**

Таблица 1

**Показатели асфальтобетонных покрытий  
с использованием исходного битума БНД 90/130  
и модифицированного дорожного вяжущего**

Показатели	ГОСТ 9128–2009	Асфальтобетон на основе БНД 90/130	Асфальтобетон на основе модифицированного БНД 90/130
Предел прочности при сжатии, МПа, при температуре, °С:			
50	Не менее 1,0	2,7	2,8
20	Не менее 2,2	6,2	7,3
0	Не менее 12	13,2	14,4
Водонасыщение, % по объему	1,5...4	3,8	2,3
Водостойкость	Не менее 0,85	0,86	0,94

Показатель температуры хрупкости битума характеризует начало интенсивного трещинообразования дорожного полотна при низкой температуре в зимнее время. Чем ниже температура хрупкости битума, тем выше его качество. Из рисунка 2 видно, что показатель температуры хрупкости полученного ПБВ на основе комплексного модификатора выше, чем у исходного битума марки БНД 90/130 и ПБВ 60.

Полученное ПБВ с улучшенными физико-механическими показателями использовали в качестве вяжущего при приготовлении асфальтобетонной смеси и оценки физико-механических свойств. Физико-механические свойства асфальтобетонных смесей определяли на цилиндрических образцах, полученных уплотнением на прессе в специальных стальных формах (согласно ГОСТ 9128–2009). В таблице 1 представлены физико-механические показатели асфальтобетонных покрытий, приготовленных с использованием исходного битума БНД 90/130 и модифицированного дорожного вяжущего комплексным модификатором на основе отходов ПЭ. Очевидно, что модификация исходного битума марки БНД 90/130 комплексным модификатором на основе ТЭП, отходов полиэтилена и поверхностно-активной адгезионной добавки приводит к увеличению прочности, водостойкости и снижению показателя водонасыщения. Все представленные показатели находятся в нормах ГОСТ 9128–2009 для дорог второй дорожно-климатической зоны, к которой относится Тамбовская область.

Из вышесказанного следует, что модификация нефтяного битума марки БНД 90/130 разработанным комплексным модификатором, включающим в себя ТЭП, отходы ПЭ и ПААД, приводит к улучшению физико-механических показателей полученного ПБВ. Проведенная проверка качественных показателей образцов дорожных покрытий, полученных на основе разработанного состава ПБВ, подтвердила перспективность применения разработанного комплексного модификатора. Введение в дорожное вяжущее разработанного модификатора позволяет снизить стоимость получаемого полимерно-битумного вяжущего, за счет частичной замены дорогостоящего термоэластопласта ДСТ-30-01 отходами полиэтилена.

*Работа выполнена в рамках областного конкурса «Гранты для поддержки прикладных исследований молодых ученых 2015 года», № 22-04/МУ-15, по теме «Исследование применения модифицированных дорожных вяжущих для приготовления асфальтобетонных смесей с использованием вторичных утилизированных полимерных материалов».*

#### *Список литературы*

1. Калгин, Ю. И. Дорожные битумоминеральные материалы на основе модифицированных битумов : монография / Ю. И. Калгин ; Воронеж. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та. – 2006. – 272 с.
2. Ядыкина, В. В. Получение эффективных дорожно-строительных материалов за счет использования механоактивированных наполнителей / В. В. Ядыкина, А. И. Траутвайн // Строит. материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2014. – № 1 (180). – С. 18 – 19.
3. К вопросу о комплексном решении проблем экологии и качества дорожных покрытий / П. С. Беляев [и др.] // Вопр. соврем. науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2012. – Спец. вып. (39). – С. 184 – 189.
4. Беляев, П. С. Решение проблемы утилизации полимерных отходов путем использования их в процессе модификации дорожного вяжущего / П. С. Беляев [и др.] // Строит. материалы. – 2013. – № 10. – С. 38 – 41.
5. Improving Energy Efficiency of Bitumen Modification with Reclaimed Crumb Rubber / V. P. Belyaev [et al.] // Components of Scientific and Technological Progress. – 2013. – № 1 (16). – С. 75 – 77.
6. Беляев, П. С. Решение проблемы утилизации отходов резинотехнических изделий путем модификации дорожных вяжущих / П. С. Беляев [и др.] // Вестн. Воронеж. гос. университета инженер. технологий. – 2014. – № 2 (60). – С. 129 – 131.
7. Исследование влияния режимных параметров процесса модификации битума на качественные показатели дорожного вяжущего / П. С. Беляев [и др.] // Науч. журн. Инженер. системы и сооружения. – 2014. – № 4 (17), т. 3. – С. 152 – 158.
8. Belyaev, V. P. On the Prospects of Integrated Solutions to Problems of Ecology and Improving the Quality of Road Surfacing / V. P. Belyaev, P. S. Belyaev, D. L. Polushkin // Перспективы науки. – 2012. – № 5 (32). – С. 186 – 189.
9. Bitumen Modification with Recycled Polymeric Materials / V. P. Belyaev [et al.] // Глобал. науч. потенциал. – 2013. – № 9 (30). – С. 29 – 33.
10. Галдина, В. Д. Модифицированные битумы : учеб. пособие / В. Д. Галдина. – Омск : СибАДИ, 2009. – 228 с.
11. Producing Crumb Rubber from Recycled Scrap Tyres to Improve the Quality of Road Surface / V. P. Belyaev [et al.] // Глобал. науч. потенциал. – 2012. – № 19. – С. 169 – 171.
12. Беляев, П. С. Получение резино-битумных композиционных материалов / П. С. Беляев, М. В. Забавников, О. Г. Маликов. – Saarbrücken : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. – 145 с.
13. Создание композиционных материалов с заданным комплексом свойств на основе битумов / П. С. Беляев [и др.] // Строит. материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2012. – № 2 (157). – С. 28 – 29.
14. К вопросу получения резино-битумного концентрата для асфальтобетонных дорожных покрытий из изношенных автомобильных шин / П. С. Беляев [и др.] // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2008. – Т. 14, № 2. – С. 346 – 352.
15. Исследование влияния резиновой крошки на физико-механические показатели нефтяного битума в процессе его модификации / П. С. Беляев [и др.] // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2005. – Т. 11, № 4. – С. 923 – 930.

# Petroleum Bitumen Modified by Polymer Materials for Asphalt Concrete Surfacing with Improved Operational Performance

P. S. Belyaev, D. L. Polushkin, P. V. Makeev, V. A. Frolov

*Department "Polymer Processing And Packaging Production", TSTU,  
polymers@asp.tstu.ru*

**Keywords:** asphalt mix; road binder modification; polyethylene; polymer-bitumen binder; thermoplastic elastomer.

**Abstract:** We conducted studies on modification of petroleum bitumen with polymeric materials to improve the quality indicators of the produced road binder. Polyethylene waste and DST 30-01 thermoplastic elastomer were used as polymer materials. To improve the adhesive properties of the resulting polymer-bitumen binder with mineral fillers we used adhesive additive "Amdor-10". The composition of the complex modifier for petroleum bitumen contained thermoplastic elastomer, waste polyethylene and surfactant additive adhesive. We measured physical and mechanical properties of asphalt mixture produced using polymer bitumen-based complex modifier. It was found that adding of polymer-bitumen binder to the resulting asphalt concrete improves its physical and mechanical characteristics. The use of thermoplastic waste reduces cost of polymer-bitumen binder in comparison with its analogues.

## *References*

1. Kalgin Y.U. *Dorozhnye bitumomineral'nye materialy na osnove modifitsirovannykh bitumov* [Road bituminous materials based on modified bitumen], Voronezh: Izdatel'stvo Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta, 2006, 272 p. (In Rus.)
2. Yadykina V.V., Trautvain A.I. [Effective road-building materials obtaining through the use of mechanically activated fillers], *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka* [Building materials, equipment, technologies of XXI century], 2014, no. 1 (180), pp. 18-19. (In Rus.)
3. Belyaev P.S., Malikov O.G., Merkulov S.A., Polushkin D.L., Belyaev V.P. [On the Complex Solution of Environment and Road Surface Quality Problems], *Voprosy sovremennoi nauki i praktiki. Universitet imeni V.I. Vernadskogo* [Problems of Contemporary Science and Practice. Vernadsky University], 2012, Special Issue (39), pp. 184-189. (In Rus.)
4. Belyaev P.S., Malikov O.G., Merkulov S.A., Polushkin D.L., Frolov V.A. [Solving the problem of disposal of plastic waste by using them in the process of modifying a road binder], *Stroitel'nye materialy* [Building materials], 2013, no. 10, pp. 38-41. (In Rus.)
5. Belyaev V.P., Malikov O.G., Merkulov S.A., Belyaev P.S., Polushkin D.L., Frolov V.A. Improving Energy Efficiency of Bitumen Modification with Reclaimed Crumb Rubber, *Components of Scientific and Technological Progress*, 2013, no. 1 (16), pp. 75-77.
6. Belyaev P.S., Malikov O.G., Merkulov S.A., Frolov V.A. [Solution to the problem waste rubber products by modifying the road binders], *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii* [Herald of the Voronezh State University of Engineering Technology], 2014, no. 2 (60), pp. 129-131. (In Rus. Abstract in Eng.)

7. Belyaev P.S., Zubkov A.F., Malikov O.G., Merkulov S.A., Polushkin D.L., Frolov V.A. [Investigation of the influence of operating parameters of modified bitumen quality indicators road binder], *Inzhenernye sistemy i sooruzheniya* [Engineering systems and facilities], 2014, no. 4 (17), vol. 3, pp. 152-158. (In Rus.)
8. Belyaev V.P., Belyaev P.S., Polushkin D.L. On the Prospects of Integrated Solutions to Problems of Ecology and Improving the Quality of Road Surfacing, *Perspektivy nauki* [Science prospects], 2012, no. 5 (32), pp. 186-189.
9. Belyaev V.P., Malikov O.G., Merkulov S.A., Polushkin D.L., Frolov V.A., Belyaev P.S. Bitumen Modification with Recycled Polymeric Materials, *Global'nyi nauchnyi potentsial* [Global Scientific Potential], 2013, no. 9 (30), pp. 29-33.
10. Galdina V.D. *Modifitsirovannye bitумы* [Modified bitumen], Omsk, 2009, 228 p.
11. Belyaev V.P., Belyaev V.P., Klinkov A.S., Belyaev P.S., Polushkin D.L. Producing Crumb Rubber from Recycled Scrap Tyres to Improve the Quality of Road Surface, *Global'nyi nauchnyi potentsial* [Global Scientific Potential], 2012, no. 19, pp. 169-171.
12. Belyaev P.S., Zabavnikov M.V., Malikov O.G. *Poluchenie rezinobitumnykh kompozitsionnykh materialov* [Production of rubber composite materials], Saarbrücken (Germany): LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012, 145 p. (In Rus.)
13. Belyaev P.S., Malikov O.G., Polushkin D.L., Vlasov L.S. [Composite materials production with given complex of properties on the basis of bitumen], *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka* [Building materials, equipment, technologies of XXI century], 2012, no. 2 (157), p. 28-29. (In Rus.)
14. Belyaev P.S., Zabavnikov M.V., Malikov O.G. [About the Problem of Using Worn-Out Car Tyres for Production of Rubber Bitumen Concentrate for Asphalt Coat], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2008, vol. 14, no. 2, p. 346-352. (In Rus., Abstract in Eng.)
15. Belyaev P.S., Zabavnikov M.V., Malikov O.G., Volkov D.S. [Research into the Influence of Rubber Chips on Physical and Mechanical Indexes of Oil Bitumen in the Process of its Modification], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2005, vol. 11, no. 4, pp. 923-930. (In Rus., Abstract in Eng.)

---

### **Modifikation der Erdölstraßenbitumen von den polymeren Materialien für das Erhalten der Asphaltbetondeckungen mit den erhöhten Betriebscharakteristiken**

**Zusammenfassung:** Es sind die Forschungen nach der Modifikation der Erdölbitumen von den Polymermaterialien zwecks der Verbesserung der Qualitätskennziffern des bekommenden Straßenbindungsmittels durchgeführt. Als Polymermaterialien sind die Abfälle des Polyäthylens und des Thermoelastoplastes DST 30-01 verwendet. Für die Verbesserung der Adhäsionseigenschaften des bekommenden des Polymerbitumverbindungsmittels mit den mineralischen Füllmassen wurde der Adhäsionszusatz „Amdor-10“ verwendet. Es ist die Zusammensetzung des komplexen Modifikators für die Erdölstraßenbitumen bestimmt, die den Thermoelastoplast, die Abfälle des Polyäthylens und den oberflächlichaktiven Adhäsionszusatz aufnimmt. Es ist die Einschätzung der physikalisch-mechanischen Kennziffern der Asphaltbetonmischung, die unter Ausnutzung des Polymerbitumverbindungsmittels aufgrund des entwickelten komplexen Modifikators erhalten wurde, durchgeführt. Es ist bestimmt, dass die Einführung des erhaltenen Polymerbitum-

verbindungsmittele in den Asphaltbeton zur Verbesserung seiner physikalisch-mechanischen Charakteristiken beiträgt. Die Benutzung der Abfälle des Thermoplastes gewährleistet die Selbstkostenverringerung des Polymerbitumverbindungsmittele im Vergleich zu den Analoga.

---

### **Modification des bitumes routiers de pétrole par les matériaux de polymère pour l'obtention des revêtements en béton bitumineux à des taux élevés d'exploitation**

**Résumé:** Sont citées les études sur la modification des bitumes routiers de pétrole par les matériaux de polymère afin d'améliorer les indices de qualité du liant routier reçu. En tant que matériaux polymères sont utilisés des déchets du polyéthylène et de l'élastomère thermoplastique DST 30-01. Pour améliorer les propriétés d'adhérence du liant routier reçu a été utilisé l'additif adhésif «Amdor-10». Est définie la composition complexe du modificateur pour les bitumes routiers de pétrole comprenant l'élastomère thermoplastique, les déchets du polyéthylène et l'additif adhésif actif. Est effectuée l'évaluation des propriétés physico-mécaniques des indicateurs du mélange d'asphalte et de béton. Est constaté que l'introduction dans le béton bitumineux du liant polymère bitumineux reçu contribue à l'amélioration de ses propriétés physico-mécaniques. L'utilisation des déchets de thermoplastique offre une réduction des coûts.

---

**Авторы:** *Беляев Павел Серафимович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Переработка полимеров и упаковочное производство»; *Полушкин Дмитрий Леонидович* – кандидат технических наук, доцент, директор технологического института; *Макеев Павел Владимирович* – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Переработка полимеров и упаковочное производство»; *Фролов Виктор Андреевич* – аспирант кафедры «Переработка полимеров и упаковочное производство», ФГБОУ ВО «ТГТУ».

**Рецензент:** *Соколов Михаил Владимирович* – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении», ФГБОУ ВО «ТГТУ».

---