

УДК 665.775

DOI 10.52928/2070-1616-2026-54-2-92-95

**МОДИФИЦИРОВАНИЕ НЕФТЯНОГО БИТУМА ИЗДЕЛИЯМИ ИЗ ПОЛИЭТИЛЕНА**

*канд. техн. наук, доц. Ю.А. БУЛАВКА,  
канд. техн. наук, доц. П.В. КОВАЛЕНКО, М.А. ЧУДОВ  
(Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой)*

*Приведены результаты исследований по вовлечению полиолефильных полимеров, а именно: пленки полиэтиленовой низкой плотности высокого давления, полиэтиленового воска ПВ-200, низкомолекулярного полиэтилена и вспененного полиэтилена, в производство битумных материалов. Установлено, что использование таких полиолефиновых полимеров, как вспененный полиэтилен и полиэтиленовый воск, растворенных в отработанном индустриальном масле, позволяет повысить теплостойкость и морозостойчивость битума с расширением интервала его пластичности. Проведенные исследования подтвердили потенциальную возможность вторичного использования изделий из полиэтилена в производстве битумных материалов для неотвеченных объектов строительства.*

**Ключевые слова:** *нефтяной битум, полимерно-модифицированный битум, полиэтилен высокого давления, полиэтиленовый воск, низкомолекулярный полиэтилен, вспененный полиэтилен.*

**Введение.** Важными задачами, стоящими сегодня перед нефтеперерабатывающей промышленностью, являются повышение качества выпускаемых продуктов, в т.ч. битумов, и внедрение безотходных технологий. Целесообразным способом решения проблемы повышения эксплуатационных свойств битумных материалов выступают создание полимерно-модифицированных композиций и производство вяжущих четвертого поколения. Битумы, модифицированные полимерами, обеспечивают высокий уровень эксплуатационных показателей качества, таких как: теплостойкость, трещиностойкость, морозостойчивость, сдвигоустойчивость, долговременная прочность и сопротивление низкотемпературному растрескиванию. Однако введение небольшого процента добавки в битум приводит к увеличению его стоимости в 3–4 раза, что обусловлено высокой стоимостью пластификаторов и полимеров (термоэластопластов типа стирол-бутадиен-стирольных каучуков и т.п.), что обуславливает необходимость поиска альтернативных модификаторов на основе вторичных и отработанных продуктов [1–12].

*Цель исследования* заключается в разработке полимерно-модифицированных композиций на основе дорожного битума и полимера-модификатора, изготовленного на основе изделий из полиэтилена, растворенных в отработанном индустриальном масле, для оценки потенциальной возможности вторичного использования полимеров совместно с отработанными маслами в производстве битумных материалов.

**Методы исследований.** Исследование включало четыре последовательных этапа. На первом этапе подобраны исходные сырьевые компоненты и изучены их свойства, а именно: дорожного битума марки БНД 50/70 производства ОАО «Нафтна» по СТБ EN 12591; выполнены высушивание и измельчение полимеров полиолефильных полимеров; подбор пластификатора. Объектами исследования являлись изделия из полиэтилена: пленка из полиэтилена низкой плотности высокого давления (пленка ПВД); полиэтиленовый воск ПВ-200 (ПЭ воск); низкомолекулярный полиэтилен с температурой каплепадения 75 °С (НМПЭ) и вспененный полиэтилен (ВПЭ). В качестве пластификатора применили отработанное индустриальное масло марки И-20А из узлов механизмов металлорежущего станка с характеристиками: вязкость кинематическая при 40 °С 42,35 мм<sup>2</sup>/с; плотность при 20 °С 887 кг/м<sup>3</sup>; температура вспышки в открытом тигле 223 °С; температура застывания минус 16 °С. На втором этапе выполнено приготовление комбинированных добавок на основе полиолефильных полимеров и пластификатора путем смешения с последующей термической обработкой при температуре 130–140 °С при перемешивании мешалкой в течение 3 ч. На третьем этапе выполнено компаундирование дорожного битума комбинированными добавками при температуре 130–140 °С при перемешивании в течение 3 ч. Получили образцы с содержанием исходного битума 86,5% масс., отработанного индустриального масла – 10% масс. и полимера – 3,5% масс. На четвертом этапе выполнено тестирование основных эксплуатационных показателей качества модифицированных битумов. Анализ модифицированных битумов осуществляли по таким показателям качества, как глубина проникания иглы, температуры размягчения и хрупкости, растяжимость и упругое восстановление, растворимость в толуоле, температура вспышки в открытом тигле. Были рассчитаны интервал пластичности и индекс пенетрации, определена стойкость к затвердеванию и адгезия по песчано-гравийной смеси.

**Результаты и их обсуждение.** В результате компаундирования однородный конечный продукт получен для всех композиций, кроме образцов с пленкой ПВД. Свойства полученных битумных композиций, модифицированных полиолефильными полимерами, в сравнении с товарным битумом и требованиями ТНПА приведены в таблице.

Таблица. – Свойства полученных битумных композиций модифицированных полиолефильными полимерами в сравнении с товарным битумом и требованиями ТНПА

Основные факторы	Норма для марки РМВ 90/150-45	Значение для марки БНД 50/70 производства ОАО «Нафтан»		Композиции в массовом соотношении в 3,5%:10%:86,5% полимера: пластификатора: битума			
		по СТБ EN 12591	фактическое значение	НМПЭ	пленка ПВД	ВПЭ	ПЭ воск
Глубина проникания иглы, 0,1 мм при 25 °С по ГОСТ EN 1426-2017 (EN 1426:2015)	90–150	50–70	49	177	158	152	120
Температура размягчения по методу «Кольцо и шар», °С по ГОСТ EN 1426-2017 (EN 1426:2015)	≥ 45	46–54	47	35	42	42	48
Растяжимость, см, при 25 °С по ГОСТ 11505-75	–	≥ 60*	84	93	25	68	44
Упругое восстановление при 25°С, % по СТБ EN 13398-2011	≥ 50	–	92	86	95	94	84
Температура хрупкости по Фраасу, °С по ГОСТ EN 12593-2017 (EN 12593:2015)	≤ -18	≤ -8	-7	-18,5	-8	-17,5	-15
Интервал пластичности по СТБ EN 14023-2011	–	–	54	53,5	50	59,5	63
Индекс пенетрации по СТБ EN 12591-2010 Приложение А (EN 12591-2009)	-1,5–+0,7	-1,5–+0,7	1,06	0,65	0,07	0,11	-0,27
Температура вспышки в открытом тигле, °С по СТБ ISO 2592-2010 (ISO 2592:2000)	≥ 235	≥ 230	> 235	> 235	> 235	> 235	> 235
Растворимость в толуоле, % по ГОСТ EN 12592-2017 (EN 12592:2014)	–	≥ 99,0	99,96	99,89	98,52	99,10	99,70
Стойкость к затвердеванию при 163 °С по ГОСТ EN 12607-1-2017 (EN 12607-1:2014):							
– остаточная пенетрация, %	≥ 50	≥ 50	13	62	56	54	59
– увеличение температуры размягчения, °С	≤ 10	≤ 9	2	4	13	9,5	7
– изменение массы – (абсолютное значение), %	≤ 0,5	≤ 0,5	0,01	0,03	0,08	0,01	0,08

\*по ГОСТ 33133-2014.

Анализ изменения температуры размягчения показал, что компаундирование исходного битума с 3,5% масс. добавками полиолефильных полимеров и 10% масс. отработанного индустриального масла приводит к снижению этого показателя на 5 °С для пленки, вспененного полиэтилена и на 12 °С для низкомолекулярного полиэтилена. Падение температуры размягчения битумных смесей связано с увеличением соотношения масла/асфальтены, обусловленного вовлечением пластификатора в битум. Растет температура размягчения при модифицировании исходного битума полиэтиленовым воском, растворенном в масле. При этом полученный образец полимерно-битумной композиции соответствует требованиям для марки РМВ 90/150-45. Вероятно, полиэтиленовый воск адсорбирует масло и образует отдельную дисперсную фазу, что вызывает рост вязкости и, как следствие, повышение теплостойкости битума.

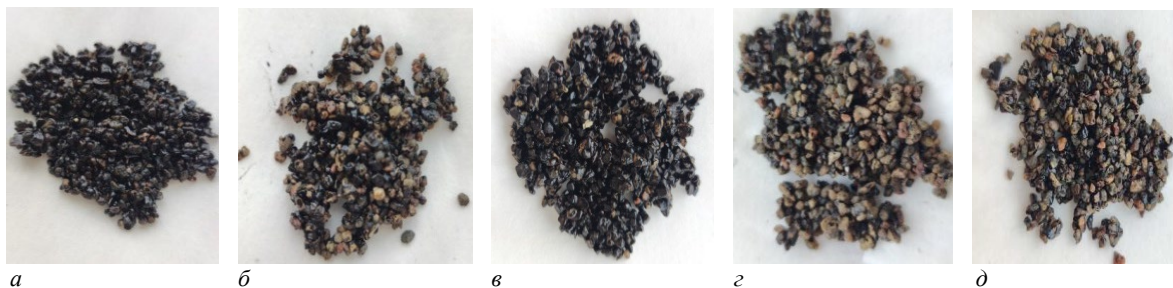
Согласно полученным результатам, модифицированный битум с использованием полиолефильных полимеров, таких как полиэтиленовый воск, вспененный полиэтилен, подходит для теплого умеренного климата и умеренных транспортных нагрузок. Анализ стойкости к затвердеванию при 163 °С показал, что вовлечение полимеров приводит к увеличению температуры размягчения от 4 до 13 °С. Максимальный показатель увели-

чения (до 31%) установлен для пленки ПВД. Вместе с тем изменение температуры размягчения, остаточной пенетрации и изменению массы после старения соответствуют требованиям ТПНА.

Компаундирование битума полимерами, растворенными в отработанном индустриальном масле, приводит к возрастанию пенетрации от 2,4 до 3,6 раза, что значительно уменьшает твердость битума и является следствием растворения битума отработанным индустриальным маслом. Максимальное возрастание пенетрации установлено для низкомолекулярного полиэтилена, минимальное – для воска. Полученные образцы с воском соответствуют требованиям для марки РМВ 90/150-45. Значение температуры вспышки для всех образцов соответствует стандартам, что обеспечивает соблюдение требований пожарной безопасности. Анализ растворимости в толуоле показал, что все образцы, кроме содержащих пленку ПВД, также соответствуют стандартам. Анализ индекса пенетрации выявил, что все исследуемые образцы попадают в требуемый диапазон от -1,5 до +0,7, при этом дисперсная структура полученных композиций наиболее приближена к типу золь-гель, оптимальному с точки зрения качества дорожного битума.

Полученные результаты свидетельствуют, что во всех образцах компаундированного битума полиолефильными полимерами и отработанным индустриальным маслом понижается температура хрупкости, т.е. улучшается морозоустойчивость композиций. Вероятно, распределение в свободной дисперсной фазе битума полимера приводит к межструктурной пластификации, что повышает подвижность пространственной дисперсной структуры, при этом не снижая ее прочность. Максимальная депрессия  $\Delta t$  11,5 °С установлена для низкомолекулярного полиэтилена. Различная депрессия у образцов, возможно, связана с тем, что полимеры воска, низкомолекулярного полиэтилена, вспененного полиэтилена распределены в виде сетки в битуме при низких температурах, а макромолекулы пленки из-за высокой молярной массы полимеров – в виде свернутых глобул. Рассчитанный интервал пластичности всех образцов соответствуют требованиям ТПНА. Полимерный каркас полиолефильных полимеров обеспечивает, с одной стороны, прочность при повышении температуры, с другой – деформативные свойства при понижении температуры, расширяя диапазон работоспособности модифицированного битума. По показателю «упругое восстановление» после растяжимости все образцы компаундированного битума соответствуют требованиям ТПНА. Анализ изменения растяжимости битума при 25 °С показал, что с добавлением полиолефильных полимеров в битум растяжимость ухудшается во всех образцах (кроме низкомолекулярного полиэтилена), битум становится менее эластичным. Вероятно, глобулы высокомолекулярных полимеров выступают концентраторами напряжения, что и способствует обрыву нити битума.

Изучено сцепление модифицированного битума с поверхностью минерального материала. Анализ выполняли на песчано-гравийной смеси фракции от 2 до 5 мм. Образцы исходного и модифицированного до и после кипячения в течение 30 мин приведены на рисунке.



*a* – битум без добавок; *б* – битум с полиэтиленовой пленкой; *в* – битум со вспененным полиэтиленом; *г* – битум с полиэтиленовым воском; *д* – битум с низкомолекулярным полиэтиленом

**Рисунок. – Результаты анализа адгезии по песчано-гравийной смеси**

Ухудшение адгезии связано с тем, что полиолефины имеют плохую совместимость с песчано-гравийной смесью из-за неполярной природы и высокой степени кристалличности. Удовлетворительная адгезия отмечена для вспененного полиэтилена (поверхность минерального материала покрыта битумом более чем на  $\frac{3}{4}$ ). Для повышения адгезии с минеральным наполнителем возможно вовлечение адгезивного агента в полимерномодифицированное вяжущее.

**Заключение.** Таким образом, в результате проведенных исследований по использованию полиолефильных полимеров (пленки полиэтиленовой низкой плотности высокого давления; полиэтиленового воска ПВ-200; низкомолекулярного полиэтилена и вспененного полиэтилена) в производстве битумных материалов установлено, что вовлечение таких полиолефиновых полимеров, как вспененный полиэтилен, а также полиэтиленовый воск, растворенных в отработанном индустриальном масле, позволяет повысить его теплостойкость и морозоустойчивость, при этом расширяется интервал пластичности битума.

В целом, проведенные исследования подтвердили потенциальную возможность вторичного использования изделий из полиэтилена в производстве битумных материалов для неответственных объектов строительства.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Герман А.М., Ширкунов А.С., Рябов В.Г. Применение полиэтилена и стирол-бутадиенстирольных модификаторов для производства дорожных полимерно-битумных вяжущих на базе неокисленных высококипящих нефтепродуктов // Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология. – 2021. – № 4. – С. 55–69.
2. A comparative life cycle assessment of hot mixes asphalt containing bituminous binder modified with waste and virgin polymers / J. Santos, V. Cerezo, K. Soudani et al. // Procedia CIRP. – 2018. – № 69. – P. 194–199. DOI: 10.1016/j.procir.2017.11.046
3. A review of the fundamentals of polymer-modified asphalts: Asphalt /polymer interactions and principles of compatibility / G. Polacco, S. Filippi, F. Merusi et al. // Advances in Colloid and Interface Science. – 2015. – № 224 – P. 72–112. DOI: 10.1016/j.cis.2015.07.010
4. Phase field simulation and microscopic observation of phase separation and thermal stability of polymer modified asphalt / M. Liang, X. Xin, W. Fan et al. // Construction and Building Materials. – 2019. – № 204. – P. 132–143. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.01.180
5. Phase behavior and hot storage characteristics of asphalt modified with various polyethylene: Experimental and numerical characterizations / M. Liang, X. Xin, W. Fan et al. // Construction and Building Materials. – 2019. – № 203. – P. 608–620. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.01.095
6. Nouali M., Ghorbel E., Derriche Z. Phase separation and thermal degradation of plastic bag waste modified bitumen during high temperature storage // Construction and Building Materials. – 2020. – № 239. – P. 117872. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.117872
7. Evaluation of the effect of processed plastic additives on the properties of paving grade bitumen / M. Gajewski, R. Horodecka, W. Bańkowski et al. // Roads and Bridges. – 2023. – № 22(03). – P. 287–307. DOI: 10.7409/rabd.023.015
8. Коваленко П.В. Исследование свойств битумно-полимерных композиций // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В, Прикладные науки. Промышленность. – 2008. – № 2. – С. 128–133.
9. Модифицирование битумных вяжущих отходами нефтехимии / Ю.А. Булавка, К.А. Гришанин, В.С. Слепенков и др. // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В, Промышленность. Прикладные науки. – 2023. – № 2(48). – С. 75–79. DOI: 10.52928/2070-1616-2023-48-2-75-79
10. Lebedzeva T.I., Bulauka Y.A. Polymer-modifier for the road bitumen manufacture of the fourth generation // Topical Issues of Rational Use of Natural Resources. – 2020. – Vol. 2. – P. 546–552. DOI: 10.1201/9781003014638-10
11. Нефтяные композиции на основе низкомолекулярного полиэтилена / Ю.А. Булавка, С.В. Покровская, В.И. Сыщевич и др. // Наука и инновации. – 2017. – Т. 6, № 172. – С. 31–33.
12. Булавка Ю.А., Петровская Ю.С., Ширабордина В.С. Современные альтернативные направления промышленного использования низкомолекулярного полиэтилена // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В, Промышленность. Прикладные науки. – 2017. – № 11. – С. 103–110.

Поступила 13.04.2026

**MODIFICATION OF OIL BITUMEN WITH POLYETHYLENE PRODUCTS**

**Y. BULAUKA, P. KOVALENKO, M. CHUDOV**  
(*Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk*)

*The article presents the results of studies on the use of polyolephilic polymers such as high-density polyethylene film, PV-200 polyethylene wax, low-molecular-weight polyethylene, and polyethylene foam in the production of bitumen materials. It was found that the use of polyolefin polymers such as polyethylene foam and polyethylene wax dissolved in waste industrial oil improves the heat and frost resistance of bitumen while expanding its plasticity range. The studies confirmed the potential for recycling polyethylene products in the production of bitumen materials for non-critical construction projects.*

**Keywords:** *petroleum bitumen, polymer-modified bitumen, high-density polyethylene, polyethylene wax, low-molecular-weight polyethylene, foamed polyethylene.*