

**ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ  
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА**

---

**ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫ  
МЕН ТЕХНИКАСЫ**

2001 ЖЫЛДАН БАСТАП ШЫҒАДЫ



**НАУКА И ТЕХНИКА  
КАЗАХСТАНА**

ИЗДАЕТСЯ С 2001 ГОДА

ISSN 1680-9165

№ 1 (2021)

---

**ПАВЛОДАР**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ**  
выходит 1 раз в квартал

---

**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о постановке на переучет периодического печатного издания,  
информационного агентства и сетевого издания  
№ KZ63VPY00028965

выдано  
Министерством информации и общественного развития  
Республики Казахстан

**Тематическая направленность**

публикация результатов фундаментальных и прикладных научных исследований  
по широкому спектру проблем в области металлургии, машиностроения, транспорта,  
строительства и естественных наук

**Подписной индекс – 76129**

<https://doi.org/10.48081/ERLV4618>

**Импакт-фактор РИНЦ – 0,344**

---

Абишев Кайратолла Кайроллинович – к.т.н., профессор (главный редактор);  
Касенов Асылбек Жумабекович – к.т.н., профессор (заместитель главного редактора);  
Мусина Жанара Керейовна – к.т.н., профессор (ответственный секретарь);  
Шокубаева Зауреш Жанатовна – технический редактор.

**Члены редакционной коллегии:**

Калиакпаров Алтай Гиндуллинович – д.т.н., профессор (Нур-Султан, Казахстан);  
Клецель Марк Яковлевич – д.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);  
Шеров Карибек Тагаевич – д.т.н., профессор (Караганда, Казахстан);  
Богомолов Алексей Витальевич - к.т.н., ассоц. профессор (Павлодар, Казахстан);  
Кажыбаева Галия Тулеуевна - к.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);

**Зарубежные члены редакционной коллегии:**

Waigang Sun – профессор (Пекин, Китай);  
Gabriele Comodi – PhD, профессор (Анкона, Италия);  
Jianhui Zhao – профессор (Харбин, Китай);  
Khamid Mahkamov – д.т.н., профессор (Ньюкасл, Великобритания);  
Magin Laruerta – д.т.н., профессор (СьюДад Исаева КуралайСметкановна Реал, Испания);  
Mareks Mezitis – д.т.н., профессор (Рига, Латвия);  
Petr Bouchner – PhD, профессор (Прага, Чехия);  
Ronny Berndtsson – профессор (Лунд, Швеция);  
Барзов Александр Александрович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);  
Витвицкий Евгений Евгеньевич – д.т.н., профессор (Омск, Россия);  
Иванчина Эмилия Дмитриевна – д.т.н., профессор (Томск, Россия);  
Лазарев Владислав Евгеньевич – д.т.н., профессор (Челябинск, Россия);  
Мягков, Леонид Львович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);  
Янюшкин Александр Сергеевич – д.т.н., профессор (Чебоксары, Россия);  
Ребезов Максим Борисович – д.с/х.н., профессор (Москва, Россия).

---

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели  
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов  
При использовании материалов журнала ссылка на журнал «Наука и техника Казахстана» обязательна

© Торайгыров университет

**А. Н. Молдахметова, М. А. Елубай**

Торайгыров университет,  
Республика Казахстан, г. Павлодар

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

*Полиэтилентерефталат (ПЭТ) – термопластичный полиэстер, один из самых распространенных (около 18 % от общего объема полимеров) видов производимых в мире пластмасс. Массовое производство ПЭТ наряду с отсутствием биологической деградациии может создать серьезную угрозу окружающей среде, так как отходы ПЭТ в основном сжигаются на свалках или захоронены на полигонах и вызывают загрязнение воздуха и почвы. В настоящей статье приведены результаты исследования возможности применения отходов ПЭТ для модификации вяжущих асфальтобетонных смесей, а именно нефтяного битума марки БНД 70/100 ТОО «Павлодарский нефтехимический завод». Изучены основные физико-химические свойства (глубина проникновения иглы при 0 и 25 °С, растяжимость, температура размягчения, температура хрупкости) битума до и после введения отходов ПЭТ в количестве от 1 до 5 масс. %. На основе полученных данных установлено, что улучшение эксплуатационных свойств битума происходит при вводе полимерного модификатора даже в количестве 1 %, однако наилучший эффект достигается при 3 %. Дальнейшее увеличение содержания полимера не приводит к значительным изменениям характеристик битума, что подтверждает оптимальную концентрацию модификатора – 3 % масс.*

*Ключевые слова: полиэтилентерефталат, твердые бытовые отходы, битум, вяжущие, механические свойства.*

### **Введение**

Автомобильные перевозки, как правило, являются наиболее эффективным и предпочтительным видом транспорта для как грузовые, так и пассажирские перевозки, благодаря легкой доступности и приспособляемости к индивидуальные потребности. Как правило, дороги можно укладывать с асфальтовым покрытием, известным как гибкое, тротуары или цементобетон, называемые жесткими тротуарами. Большинство дорог гибкого типа с под- базой, основанием и поверхностным слоем поверх уплотненного земляного полотна. Асфальтобетон обычно используется в поверхностном слое гибких дорожных покрытий.

Ученые активно изучают возможность применения вторичных материалов ПЭТ в асфальтовых смесях. Известно, что температура плавления ПЭТ-материалов довольно высока (около 250 °С), данный факт ограничивает использования данных отходов в качестве модификаторов битума, так как они могут неравномерно

распределятся в смеси. Поэтому материалы ПЭТ часто используются в качестве модификаторов смесей или заменителей заполнителей [1].

Результаты исследований показали [2], что использование ПЭТ в асфальтобетонных смесях может улучшить долговечность и механические свойства с точки зрения сопротивления пластической деформации [3, 4], прочности на разрыв [5], жесткости [6, 7] при оптимальном подборе концентрации, формы и размера отходов [1].

Тахерхани и Аршади [4] использовали два различных размера ПЭТ, включая мелкодисперсные (1,18–2,36 мм) и крупнозернистые (0,297–0,595 мм) частицы. Они сообщили, что когда в смесь было добавлено 2 % как мелкого, так и крупнозернистого ПЭТ, наивысшее значение прочности на не прямое растяжение (НР) достигается при 25 °С. Однако повышение концентрации ПЭТ уменьшило значения НР [4, 8]. Аналогичные результаты показали Модаррес и Хамеди [5, 7], проведя тест НР при 5 °С и 20 °С с использованием частиц ПЭТ в диапазоне от 0,425 до 1,18 мм.

Особый интерес при дорожном строительстве представляют вяжущие, а именно нефтяные битумы. Известно, что основным способом модификации физико-химических и эксплуатационных свойств битумов является их смешение (компаундирование) с различными добавками.

В данной статье рассматривается возможность применения отходов ПЭТ для модификации вяжущих асфальтобетонных смесей.

#### **Материалы и методы**

В качестве объектов исследования были выбраны нефтяной дорожный битум марки БНД 70/100 ТОО «Павлодарский нефтехимический завод», а модификаторами служили отходы ПЭТ.

Пластиковые бутылки из ПЭТ были собраны из потока твердых бытовых отходов, этикетки с бутылок, крышки и кольца с горлышка были удалены, затем проводили измельчение очищенных бутылок из ПЭТ с получением хлопьев размером 5 мм. Молекулярная масса применяемого отхода ПЭТ составила 47300 Да, температура плавления – 253 °С, а стеклования – 87 °С.

Исследования пенетрации проводили согласно ГОСТ 11501–78 «Метод определения глубины проникания иглы», сущность которого заключается в измерении глубины, на которую погружаются иглы пенетromетра в образце битума при заданных условиях (нагрузка, температура, время). Значения пенетрации битума характеризуют степень их твердости.

Температура размягчения модифицированных образцов битума определяли по ГОСТ 11506–73 «Метод определения температуры размягчения по кольцу и шару». Сущность способа - определение температуры битума, находящегося в кольце заданных размеров размягчается и перемещается под действием стального шарика коснется нижней пластинки. Данный показатель определяет термостойкость битума.

Дуктильность модифицированных образцов битума проводят по ГОСТ 11505–75 «Метод определения растяжимости»: определяют максимальную длину

растяжения битума (залитого в специальную форму, раздвигаемую с постоянной скоростью при заданной температуре) без разрыва. Значения дуктильности определяют эластичность битума.

Температуру хрупкости битумов определяли согласно ГОСТ 11507-78 «Метод определения температуры хрупкости по Фраасу». Способ заключается в охлаждении и периодическом изгибе образца битума и определении температуры, при которой появляются трещины или образец битума ломается.

**Результаты и обсуждение**

Результаты оценки эффективности модификации битума отходами ПЭТ в количестве 1, 2, 3, 4 и 5 % масс. представлены в таблице 1.

По результатам таблицы 1 установлено, что введение полимерных добавок на битумы заметно улучшают их физико- химические характеристики. Стоит отметить, что наблюдается увеличение температуры размягчения и снижение растяжимости.

Максимальные изменения температуры размягчения по КиШ в модифицированных образцах битумов отмечаются при содержании 3-4 % масс. вторичных ПЭТ. Так, для битумов с содержанием 3% масс. ПЭТ отмечается увеличение температуры размягчения от 52 до 57°C, что, в свою очередь, снижает склонность битума к деформации.

Таблица 1 – Физико-химические свойства битума БНД 70/100 после ввода в его состав модификатора

Показатель	Значение				
	1	2	3	4	5
Количество модификатора, %					
Глубина проникновения иглы, 0,1 мм					
при 25 °С	68	65	61	62	63
при 0 °С	23	24	23	23	23
Растяжимость, мсм	68	49	38	38	44
Температура размягчения, °С	52	54	57	56	55
Температура хрупкости, °С	-19	-19	-18	-19	-19

Из анализа результатов исследований, приведенных в таблице 2, также для концентраций 3–4 % характерны наибольшие значения по снижению их растяжимости и пенетрации. Растяжимость образцов модифицированных битумов заметно уменьшается при добавлении полимерных отходов от 3 до 4 % масс., затем отмечается увеличение данного показателя. Известно, что пенетрация является косвенной характеристикой степени твердости образцов битума. В частности, при вводе модификатора в количестве 3 % масс. наблюдается уменьшение глубины проникновения иглы (при 25 °С) на 7 мм.

**Выводы**

На основе полученных данных установлено, что улучшение эксплуатационных свойств битума происходит при вводе полимерного модификатора даже в

количества 1 %, однако наилучший эффект достигается при 3 %. Дальнейшее увеличение содержания полимера не приводит к значительным изменениям характеристик битума, что подтверждает оптимальную концентрацию модификатора – 3 % масс.

Таким образом, анализ исследований физико-химических свойств битума марки БНД 70/100 и отхода ПЭТ видно, что использование полимерных отходов приводит к значительному улучшению характеристик битума.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Aghayan, I., Khafajeh, R.** Recycling of PET in asphalt concrete. – Elsevier Ltd: 2019. – P. 269–285 [англ. яз.].

2 **Ameri, M., Nasr, D.** Performance properties of devulcanized waste PET modified asphalt mixtures // *Pet. Sci. Technol.* – 2017. – 35. – P. 99–104 [англ. яз.].

3 **Movilla-Quesada, D., Raposeiras, A.C., Olavarría, J.** Effects of Recycled Polyethylene Terephthalate (PET) on Stiffness of Hot Asphalt Mixtures // *Adv. Civ. Eng.* – 2019, 1. – P. 1–6 [англ. яз.].

4 **Taherkhani, H., Arshadi, M. R.** Investigating the mechanical properties of asphalt concrete containing waste polyethylene terephthalate // *Road Material and Pavement Design.* – 2017, 20. – P. 381–398 [англ. яз.].

5 **Modarres, A., Hamed, H.** Effect of waste plastic bottles on the stiffness and fatigue properties of modified asphalt mixes // *Mater. Des.* – 2014. – 61. – P. 8–15 [англ. яз.].

6 **Baghaee Moghaddam, T., Karim, M.R., Syammaun, T.** Dynamic properties of stone mastic asphalt mixtures containing waste plastic bottles // *Constr. Build. Mater.* – 2012. – 34. – P. 236–242 [англ. яз.].

7 **Modarres, A., Hamed, H.** Developing laboratory fatigue and resilient modulus models for modified asphalt mixes with waste plastic bottles (PET) // *Constr. Build. Mater.* – 2014. – 68. – P. 259–267 [англ. яз.].

8 **Ziari, H., Kaliji, A. G., Babagoli, R.** Laboratory evaluation of the effect of waste plastic bottle (PET) on rutting performance of hot mix asphalt mixtures // *Pet. Sci. Technol.* – 2016. – 34. – P. 819–823 [англ. яз.].

9 **Navarro, R., Ferrandiz, S., Lopez, J., Seguí, V. J.** The influence of polyethylene in the mechanical recycling of polyethylene terephthalate // *Journal of Material Processing Technology.* – 2008. – № 195. – P. 110 – 116 [англ. яз.].

10 **Padhan, R. K., Gupta, A. A., Badoni, R. P., Bhatnagar, A. K.** Poly(ethylene terephthalate) waste derived chemicals as an antistripping additive for bitumen-an environment friendly approach for disposal of environmentally hazardous material // *Polymer Degradation and Stability.* – 2013. – № 98. – P. 2592–2601 [англ. яз.].

---

---

**References**

- 1 **Aghayan, I., Khafajeh, R.** Recycling of PET in asphalt concrete. – Elsevier Ltd: 2019. – P. 269–285.
- 2 **Ameri, M., Nasr, D.** Performance properties of devulcanized waste PET modified asphalt mixtures // Pet. Sci. Technol. – 2017. – 35. –P. 99–104.
- 3 **Movilla-Quesada, D., Raposeiras, A. C., Olavarria, J.** Effects of Recycled Polyethylene Terephthalate (PET) on Stiffness of Hot Asphalt Mixtures // Adv. Civ. Eng. – 2019. – 1. –P. 1–6.
- 4 **Taherkhani, H., Arshadi, M. R.** Investigating the mechanical properties of asphalt concrete containing waste polyethylene terephthalate // Road Material and Pavement Design. – 2017. – 20. – P. 381–398 [англ. яз.].
- 5 **Modarres, A., Hamed, H.** Effect of waste plastic bottles on the stiffness and fatigue properties of modified asphalt mixes // Mater. Des. –2014, 61. –P. 8–15.
- 6 **Baghaee Moghaddam, T., Karim, M.R., Syammaun, T.** Dynamic properties of stone mastic asphalt mixtures containing waste plastic bottles // Constr. Build. Mater. – 2012. – 34. – P. 236–242.
- 7 **Modarres, A., Hamed, H.** Developing laboratory fatigue and resilient modulus models for modified asphalt mixes with waste plastic bottles (PET) // Constr. Build. Mater. – 2014. – 68. –P. 259–267.
- 8 **Ziari, H., Kaliji, A. G., Babagoli, R.** Laboratory evaluation of the effect of waste plastic bottle (PET) on rutting performance of hot mix asphalt mixtures // Pet. Sci. Technol. – 2016. – 34. – P. 819–823.
- 9 **Navarro, R., Ferrandiz, S., Lopez, J., Seguí, V. J.** The influence of polyethylene in the mechanical recycling of polyethylene terephthalate // Journal of Material Processing Technology. – 2008. – № 195. – P. 110–116 [англ. яз.].
- 10 **Padhan, R.K., Gupta, A.A., Badoni, R.P., Bhatnagar, A. K.** Poly(ethylene terephthalate) waste derived chemicals as an antistripping additive for bitumen-an environment friendly approach for disposal of environmentally hazardous material // Polymer Degradation and Stability. – 2013. –№ 98. – P. 2592-2601 [англ. яз.].

Материал поступил в редакцию 25.03.21.

**А. Н. Молдахметова, М. А. Елубай**  
Торайғыров университеті,  
Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.  
Материал 25.03.21 баспаға түсті.

**ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТТЫ ҚАТТЫ ТҰРМЫСТЫҚ  
ҚАЛДЫҚТАРЫН ЖОЛ ҚҰРЫЛЫСЫНДА ҚОЛДАНУ**

*Полиэтилентерефталат (ПЭТ) – термопластикалық полиэстер, әлемде өндірілетін ең кең таралған (полимерлердің жалпы көлемінің шамамен 18 %)*

түрлерінің бірі. ПЭТ-ті жаппай өндіру биологиялық деградацияның болмауы салдарымен бірге қоршаған ортаға үлкен қауіп төндіруі мүмкін, өйткені ПЭТ қалдықтары негізінен полигондарда жағылуы мүмкін немесе полигондарда көміліп, ауа мен топырақтың ластануын тудыру қаупі бар. Бұл мақалада байланыстырушы асфальт бетон қоспаларын модификациялау үшін ПЭТ қалдықтарын қолдану мүмкіндіктерін зерттеу нәтижелері көрсетілген, атап айтқанда, «Павлодар мұнай - химия зауыты» ЖШС алынған БНД 70/100 маркалы мұнай битумы. ПЭТ қалдықтарын 1-ден 5-ге дейін пайыз мөлшерде енгізгенге дейін және одан кейін негізгі физика- химиялық қасиеттері (соның ішінде иненің ену тереңдігі 0 және 25 °С температурада, созылғыштығы, жұмсару температурасы, сынғыштық температурасы) зерттелді. Алынған мәліметтер негізінде битумның эксплуатациялық қасиеттерін жақсарту полимерлі модификаторды 1 % мөлшерінде енгізген кезден басталатындығы анықталды, алайда ең жақсы әсер 3 %-ға жететіні анықталды. Полимер құрамының одан әрі жоғарылауы битум сипаттамаларының айтарлықтай өзгеруіне алып келмейді, бұл модификатордың оңтайлы концентрациясы 3 % болатындығын растайды.

*Кілтті сөздер:* полиэтилентерефталат, қатты тұрмыстық қалдықтар, битум, байланыстырғыш, механикалық қасиеттер.

**N. Moldakhmetova, M. A. Yelubay**

Toraighyrov University,  
Republic of Kazakhstan, Pavlodar.  
Material received on 25.03.21.

## APPLICATION OF SOLID WASTE POLYETHYLENE TEREPHTHALATE IN ROAD CONSTRUCTION

*Polyethylene terephthalate (PET) is a thermoplastic polyester, one of the most widespread (about 18 % of the total volume of polymers) types of plastics produced in the world. The mass production of PET, along with the absence of biological degradation, can pose a serious threat to the environment, since PET waste is mainly burned or buried in landfills and causes air and soil pollution. This article presents the results of a study of the possibility of using PET waste for the modification of binding asphalt concrete mixtures, namely, petroleum bitumen grade BND 70/100 Pavlodar Petrochemical Plant LLP. The basic physical and chemical properties (depth of needle penetration at 0 and 25 °C, extensibility, softening temperature, brittleness temperature) of bitumen before and after the introduction of PET waste in an amount of 1 to 5 wt. % were studied. On the basis of the data obtained, it was found that the improvement of the operational properties of bitumen occurs when a polymer modifier is added even in an amount of 1%, but the best effect is achieved at 3 %. A further increase in the polymer content does not lead to significant changes in the characteristics of bitumen, which confirms the optimal concentration of the modifier – 3 % of the mass.*

*Keywords:* polyethylene terephthalate, solid household waste, bitumen, astringents, mechanical properties.



Теруге 25.03.21 ж. жіберілді. Басуға 05.04.21 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

2,74 Мб RAM

Шартты баспа табағы 9,7. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген З. С. Искакова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3747

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов көш., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

e-mail: [kereku@tou.edu.kz](mailto:kereku@tou.edu.kz)

[nitk.tou.edu.kz](http://nitk.tou.edu.kz)