

УДК 665.6; <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2022-5.10>  
<https://orcid.org/0000-0001-8273-0020>  
<https://orcid.org/0000-0001-8228-7188>  
<https://orcid.org/0000-0002-9847-8218>  
<https://orcid.org/0000-0001-8030-8934>  
<https://orcid.org/0000-0002-0418-9360>  
<https://orcid.org/0000-0001-5736-4268>  
<https://orcid.org/0000-0003-0136-4220>  
<https://orcid.org/0000-0002-8449-2131>

## МОДИФИКАЦИЯ НЕФТЯНЫХ БИТУМОВ БЫТОВЫМИ ПОЛИМЕРНЫМИ ОТХОДАМИ



**Е.И. ИМАНБАЕВ<sup>1</sup>**,  
 PhD, ассоциированный  
 профессор, ведущий  
 научный сотрудник,  
[yerzhan.imanbayev@yu.edu.kz](mailto:yerzhan.imanbayev@yu.edu.kz)



**А.Ч. БУСУРМАНОВА<sup>1</sup>**,  
 кандидат химических наук,  
 доцент кафедры  
 «Естественные науки»,  
[akkenzhe.bussurmanova@yu.edu.kz](mailto:akkenzhe.bussurmanova@yu.edu.kz)



**А.Ш. АККЕНЖЕЕВА<sup>1</sup>**,  
 кандидат технических наук,  
 доцент кафедры  
 «Естественные науки»,  
[anar.akkenzheyeva@yu.edu.kz](mailto:anar.akkenzheyeva@yu.edu.kz)



**Е.К. ОНГАРБАЕВ<sup>2</sup>**,  
 доктор химических наук,  
 профессор кафедры хими-  
 ческой физики и материалो-  
 ведения, зав. лабораторией  
 нефтехимических процессов  
 РГП "Институт проблем горения,  
[Erdos.Ongarbaev@kaznu.edu.kz](mailto:Erdos.Ongarbaev@kaznu.edu.kz)



**А.К. СЕРИКБАЕВА<sup>1</sup>**,  
 кандидат технических наук,  
 профессор кафедры  
 «Экология и геология»,  
[akmaral.serikbayeva@yu.edu.kz](mailto:akmaral.serikbayeva@yu.edu.kz)



**М.М. АБДИБАТТАЕВА<sup>2,3</sup>**,  
 доктор технических наук,  
 профессор  
[maral7676@mail.ru](mailto:maral7676@mail.ru)

**Е.В. СОЛОДОВА**<sup>2,3</sup>, кандидат биологических наук, ассоциированный профессор, член-корреспондент НИА РК, [neftgas@inbox.ru](mailto:neftgas@inbox.ru)

**С.Т. ЗАИТОВА**<sup>4</sup>, магистр экономических наук, научный сотрудник, заместитель генерального директора, [nn32@mail.ru](mailto:nn32@mail.ru)

<sup>1</sup>НАО «КАСПИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГИИ И ИНЖИНИРИНГА ИМ. Ш. ЕСЕНОВА»  
Республика Казахстан, 130000, г. Актау, 32 мкр

<sup>2</sup>КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АЛЬ-ФАРАБИ  
Республика Казахстан, 050040, г. Алматы, проспект Аль-Фараби 71

<sup>3</sup>КАЗАХСТАНСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
Республика Казахстан, 050060, г. Алматы, пр. Аль-Фараби, пр. Аль-Фараби 93Г/5

<sup>4</sup>НАУЧНО-ИНЖЕНЕРНЫЙ ЦЕНТР «НЕФТЬ»  
НАЦИОНАЛЬНОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ АКАДЕМИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
Республика Казахстан, 050010, г. Алматы, ул. Богенбай Батыра, 80

*Предлагается использование пластиковых отходов в качестве модификаторов битума с особым акцентом на переработанные пластмассы. Рассматривается потенциальное использование для улучшения характеристик битума и долговечности дорог.*

*Для приготовления модифицированного битума был использован битум марки БНД 100/130 производства ТОО «СП CASPI BITUM» (Казахстан). В качестве объектов исследования использовали полимерные бытовые отходы на основе пластиковых бутылок. Полимерные отходы были получены методом механического рециклинга.*

*Основные физико-механические характеристики модифицированного битума были определены после обычных испытаний, пенетрации и пластичности, температуры размягчения, температуры хрупкости по Фраасу и микроскопического анализа. Морфологию модифицированного битума исследовали с помощью сканирующей электронной микроскопии.*

*Разработана оригинальная рецептура полимерно-битумного вяжущего с улучшенными эксплуатационными характеристиками по сравнению с нефтяным битумом. Введение использованных полимерных отходов в качестве модификатора не требует установки дополнительного гомогенизатора (коллоидной мельницы), также нет необходимости вводить пластификатор для достижения нужной однородности системы и требуемой по казахстанскому стандарту ПБВ 40 и ПБВ 90.*

*Благодаря использованию данного технологического решения, возможно нивелировать проблему утилизации бытовых полимерных отходов с получением полимерно-битумного вяжущего.*

*Данный полимерный модификатор отличается дешевизной его получения. Достоинством использованной полимерной добавки является стадия приготовления полимера – процесса совместной химической деструкции вторичного полиэтилентерефталата в присутствии высокоэластичного полимера стирол-бутадиен-стирола для торможения расслаивания полимерных компонентов в битуме, благодаря которой решается проблема изготовления качественного усреднения продукта.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** бытовые полимерные отходы, нефтяной битум, модификация, физико-механические характеристики, микроскопический анализ.

## МҰНАЙ БИТУМДАРЫН ТҰРМЫСТЫҚ ПОЛИМЕР ҚАЛДЫҚТАРЫМЕН МОДИФИКАЦИЯЛАУ

**Е.И. ИМАНБАЕВ**<sup>1</sup>, PhD, қауымдастырылған профессор, Ш. Есенов атындағы КТИУ жетекші ғылыми қызметкері, [yerzhan.imanbayev@yu.edu.kz](mailto:yerzhan.imanbayev@yu.edu.kz)

**А.Ч. БУСУРМАНОВА**<sup>1</sup>, химия ғылымдарының кандидаты, Ш. Есенов атындағы КТИУ «Жаратылыстану ғылымдары» кафедрасының доценті, [akkenzhe.bussurmanova@yu.edu.kz](mailto:akkenzhe.bussurmanova@yu.edu.kz)

**А.Ш. АККЕНЖЕЕВА**<sup>1</sup>, техника ғылымдарының кандидаты, Ш. Есенов атындағы КТИУ «Жаратылыстану ғылымдары» кафедрасының доценті, [anar.akkenzheyeva@yu.edu.kz](mailto:anar.akkenzheyeva@yu.edu.kz)

**Е.К. ОҢҒАРБАЕВ**<sup>2</sup>, химия ғылымдарының докторы, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ-дың «Химиялық

физика және материалтану» кафедрасының профессоры, РМК «Жану проблемалары институты» мұнай-химиялық процестер зертханасының меңгерушісі *Erdos.Ongarbaev@kaznu.edu.kz*  
**А.К. СЕРІКБАЕВА**<sup>1</sup>, техника ғылымдарының кандидаты, Ш. Есенов атындағы КТИУ «Экология және геология» кафедрасының профессоры, *akmaral.serikbayeva@yu.edu.kz*  
**М.М. АБДИБАТТАЕВА**<sup>2,3</sup>, техника ғылымдарының докторы, профессор, *maral7676@mail.ru*  
**Е.В. СОЛОДОВА**<sup>2,3</sup>, биология ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, ҚР ҰИА корреспондент-мүшесі, *neftgas@inbox.ru*  
**С.Т. ЗАИТОВА**<sup>4</sup>, экономика ғылымдарының магистрі, ғылыми қызметкер, бас директордың орынбасары, *nn32@mail.ru*

<sup>1</sup>«Ш. ЕСЕНОВАТЫНДАҒЫ КАСПИЙ ТЕХНОЛОГИЯЛАР  
 ЖӘНЕ ИНЖИНИРИНГ УНИВЕРСИТЕТІ» КЕАҚ

Қазақстан Республикасы, 130000, Ақтау қаласы, 32 шағын аудан

<sup>2</sup>ӘЛ-ФАРАБИ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ  
 Қазақстан Республикасы, 050040, Алматы қ., Әл-Фараби даңғылы, 71

<sup>3</sup>ҚАЗАҚСТАН ИНЖЕНЕРЛІК-ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ  
 Қазақстан Республикасы, 050060, Алматы қ., Әл-Фараби даңғылы, 93Г/5,

<sup>4</sup>ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҰЛТТЫҚ ИНЖЕНЕРЛІК АКАДЕМИЯСЫНЫҢ "МҰНАЙ"  
 ҒЫЛЫМИ-ИНЖЕНЕРЛІК ОРТАЛЫҒЫ  
 Қазақстан Республикасы, 050010, Алматы қ., Бөгенбай батыр к-сі, 80

*Пластикалық қалдықтарды қайта өңделген пластмассаларға ерекше назар аударатырып, битум модификаторы ретінде пайдалану ұсынылады. Битумның өнімділігі мен жолдардың беріктігін жақсарту үшін әлеуетті пайдалану қарастырылуда.*

*Модификацияланған битумды дайындау үшін "СП CASPI BITUM" ЖШС (Қазақстан) өндірген БНД 100/130 маркалы битум пайдаланылды. Зерттеу нысандары ретінде пластикалық бөтелкелерге негізделген полимерлі тұрмыстық қалдықтар пайдаланылды. Полимерлі қалдықтар механикалық қайта өңдеу арқылы алынды.*

*Модификацияланған битумның негізгі физика-механикалық сипаттамалары әдеттегі сынақтардан, ену мен икемділіктен, жұмсарту температурасынан, Fraas сынғыштық температурасынан және микроскопиялық талдаудан кейін анықталды. Модификацияланған битумның морфологиясы сканерлеуші электронды микроскопия арқылы зерттелді.*

*Мұнай битумымен салыстырғанда өнімділігі жақсартылған полимерлі-битумды байланыстырғыштың түпнұсқа формуласы жасалды.*

**ТҮЙІН СӨЗДЕР:** тұрмыстық полимер қалдықтары, мұнай битумы, модификациясы, физикалық-механикалық сипаттамалары, микроскопиялық талдау.

## MODIFICATION OF BITUMEN WITH RECYCLED PLASTICS FROM WASTE MATERIALS

**Y.I. IMANBAYEV**<sup>1</sup>, PhD, associate professor, leading researcher of CTIU named after Sh. Yessenov, *yerzhan.imanbayev@yu.edu.kz*

**A.CH. BUSSURMANOVA**<sup>1</sup>, candidate of chemical sciences, associate professor of the department of "Natural Sciences" of CTIU named after Sh. Yessenov, *akkenzhe.bussurmanova@yu.edu.kz*

**A.SH. AKKENZHEYEVA**<sup>1</sup>, candidate of technical sciences, associate professor of the department of "Natural Sciences" of CTIU named after Sh. Yessenov, *anar.akkenzheeva@yu.edu.kz*

**Y.K. ONGARBAYEV**<sup>2</sup>, doctor of chemical sciences, professor of the department of "Chemical physics and materials science" of KazNU named after Al-Farabi, head of the petrochemical processes laboratory of RMC "Institute of Combustion Problems", *Erdos.Ongarbaev@kaznu.edu.kz*

**A.K. SERIKBAYEVA**<sup>1</sup>, candidate of technical sciences, professor of the Department of "Ecology and Geology" of CTIU named after Sh. Yessenov, *akmaral.serikbayeva@yu.edu.kz*

**M.M. ABDIBATTAYEVA**<sup>2,3</sup>, doctor of technical sciences, professor, [maral7676@mail.ru](mailto:maral7676@mail.ru)  
**E.V. SOLODOVA**<sup>2,3</sup>, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Corresponding Member  
of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, [neftgas@inbox.ru](mailto:neftgas@inbox.ru)  
**S.T. ZAITOVA**<sup>4</sup>, Master's Degree, Deputy General Director, [nn32@mail.ru](mailto:nn32@mail.ru)

<sup>1</sup>NJSC "CASPIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY AND ENGINEERING  
NAMED AFTER SH. YESSENOV"  
32 mcr, Aktau, 130000, Republic of Kazakhstan

<sup>2</sup>AL-FARABI KAZAKH NATIONAL UNIVERSITY  
71 Al-Farabi Avenue, Almaty, 050040, Republic of Kazakhstan

<sup>3</sup>KAZAKHSTAN UNIVERSITY OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY  
93G/5 Al-Farabi Ave., Almaty, 050060, Republic of Kazakhstan

<sup>4</sup>SCIENTIFIC ENGINEERING CENTER "NEFT"  
OF THE NATIONAL ENGINEERING ACADEMY OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN  
80, Bogenbai Batyr str., Almaty, 050010, Republic of Kazakhstan

*It is proposed to use plastic waste as bitumen modifiers with a special emphasis on recycled plastics. The potential use for improving the characteristics of bitumen and durability of roads is being considered.*

*For the preparation of modified bitumen, it was used the BND 100/130 bitumen produced by LLP "JV CASPI BITUMEN" (Kazakhstan). Polymer household waste based on plastic bottles was used as objects of the research. Polymer waste was obtained by mechanical recycling.*

*The main physical and mechanical characteristics of the modified bitumen were determined after routine tests, penetration and plasticity, softening temperature, Fraas brittleness temperature and microscopic analysis. The morphology of the modified bitumen was studied using scanning electron microscopy.*

*An original formulation of the polymer-bitumen binder with improved performance characteristics compared to petroleum bitumen has been developed. The introduction of used polymer waste as a modifier does not require the installation of an additional homogenizer (colloidal mill), and there is no need to introduce a plasticizer to achieve the desired uniformity of the system and required by the Kazakhstan standard PMB 40 and PMB 90.*

*Thanks to the use of this technological solution, it is possible to level the problem of disposal of household polymer waste with the polymer-bitumen binder production.*

*This polymer modifier is characterized by low cost of its production. The advantage of the used polymer additive is the stage of polymer preparation - the process of joint chemical destruction of secondary polyethylene terephthalate in the presence of a highly elastic styrene-butadiene-styrene polymer to inhibit the delamination of polymer components in bitumen, due to which the problem of manufacturing high-quality homogenization of the product is solved.*

**KEY WORDS:** recycled polymer waste, petroleum bitumen, modification, physical and mechanical characteristics, microscopic analysis.

**В**ведение. Пластмассовые (пластиковые) материалы имеют особо важную роль в повышении уровня жизни человека в течение последних 50 лет. Пластмасса является основой инноваций многих продуктов в различных секторах, таких как строительство, здравоохранение, электроника, автомобилестроение, упаковка и др.

За счет роста мирового населения, спрос на пластмассовые изделия значительно вырос. В 2013 г. мировое производство пластиковых изделий было около 299 млн т и увеличилось на 4 % по сравнению с 2012 г. [1-3]. Непрерывный спрос на пластмассовые изделия привел к росту ежегодного накопления отходов пластмасс. По статистике за 2013 год в США около 33 млн т пластмассовых отходов образуются ежегодно [4, 5].

В 2012 г. в Европе количество пластмассовых отходов было около 25 млн т. По статистике в Европе около 38 % пластиковых отходов поступают на полигоны, из них 26 % восстанавливаются, а 36 % перерабатываются для получения альтернативных источников энергии. Это показывает, что наибольшее количество пластмассовых отходов все еще отправляется на полигоны, что является следствием нехватки свободного пространства для их хранения.

Биодеградация пластмассы может занять около миллиардов лет. Непрерывное накопление пластмассовых изделий на свалках может привести к серьезным экологическим проблемам. Неправильная утилизация пластиковых отходов оказывает негативное влияние на экологию и здоровье человека из-за многих причин: полимеры имеют повышенные свойства пожароопасности, иными словами при сгорании они плохо поддаются тушению и выделяют токсичные вещества; токсичные вещества из сжигаемых полимерных материалов могут мигрировать в атмосферу, литосферу и гидросферу [6-8]. В этой связи, многие страны ввели запрет на выбрасывание использованных полимеров, и начали их вторичную переработку. Поэтому, следует разработать новые и эффективные методы утилизации отходов пластмасс, которые будут решать вопросы, касающиеся охраны окружающей среды и производства дополнительных видов источников энергии.

*Актуальность исследования.* Разработка технологии модификация нефтяных дорожных битумов полимерными материалами, полученными вторичной переработкой, создание и усовершенствование специализированного оборудования, получение модифицированных битумов с заданными свойствами в зависимости от области применения, а также и другие вопросы являются актуальными.

В дорожной промышленности наиболее подходящими классами полимеров для модификации битумов являются термоэластопласты и термопласты. Термопластичные пластмассы составляют около 80 % от всех произведенных пластмасс. Поэтому основную часть отходов составляют пластиковые отходы на основе полиэтилен-терефталата (ПЭТ) и они находят применение в качестве добавок при дорожном производстве, т.к. состоят в основном из сложного полиэфира.

Исследований, посвященных использованию ПЭТ в дорожной отрасли не так много, в частности, в работах [9-13] показано, как их использование непосредственно в асфальтобетонной смеси улучшает устойчивость смеси к колееобразованию.

Авторами работ [14], показаны исследования добавления ПЭТ в составе битумного вяжущего. Установлено, что добавление ПЭТ в диапазоне 2 – 10 % эффективно воздействовало на деформативные характеристики битума. Данное исследование рекомендовано как новый способ вторичного использования ПЭТ-отходов для их применения в составе битумного вяжущего.

Последнее годы условия работы дорожных битумов в покрытии позволили сформулировать некоторые требования к используемой полимеров, которые наиболее пригодны для получения полимерно-битумных вяжущих с заданными свойствами. Т. е. молекулы полимера должны обладать склонностью к ассоциации и должны хорошо и быстро распределяться в дисперсионной среде битума без деструкции. Полимеры должны образовывать в битуме структурную сетку, сохраняющую эластичность при температуре до минус 60 °С и прочность при температурах не ниже 60 °С.

В данной работе изучено влияние полимерных отходов на физико-механические характеристики модифицированных битумов.

**Материалы и методы исследований.** В качестве объектов исследования использовали полимерные бытовые отходы на основе пластиковых бутылок. Полимерные отходы получены методом механического рециклинга. Суть этого метода состоит в механическом измельчении пластиковых отходов с целью дальнейшей термической обработки и получения качественного сырья.

В настоящем исследовании для приготовления модифицированного битума был использован битум марки БНД 100/130 производства ТОО «СП CASPI BITUM» (Казахстан). Характеристика битума нефтяной дорожный марки БНД 100/130 приведена в *таблице 1*.

**Таблица 1 – Характеристика битума нефтяного дорожного марки БНД 100/130**

Наименование показателя	Нормативные показатели марки БНД 100/130	Факт. значение	Метод испытания
Глубина проникания иглы, не ниже, при температуре 25 °С, мм	101-130	113	СТ РК 1226
Температура размягчения по КиШ °С, не ниже	43	44	СТ РК 1227
Растяжимость, не менее: при температуре 25 °С, см	90	>150	СТ РК 1374
Вязкость динамическая при 135 °С, мм <sup>2</sup> /с не менее	180	352	СТ РК 1210
Температура вспышки °С, не ниже	230	282	СТ РК 1804
Температура хрупкости по Фраасу °С, не выше	– 22	– 24	СТ РК 1229
Индекс пенетрации	от – 0,1 до + 1,0	– 0,7	
Растворимость %, не менее	99,0	99,9	СТ РК 1228

Результаты испытаний показали, что фактические показатели БНД 100/130, такие как температура размягчения по кольцу и шару 44 °С, растяжимость при 25 °С –  $\geq 150$  см, вязкость кинематическая при 135 °С – 352 мм<sup>2</sup>/с, температура вспышки – 282 °С, хрупкость по Фраасу – 24 °С и соответствуют требованиям по СТ РК 1373-2013.

Для приготовления полимербитумных вяжущих была собрана установка, схема которой показана на *рисунке 1*.

Установка состоит из цилиндрического реактора 1 длиной 20 см с внутренним диаметром 15 см. Реактор нагревается с помощью электрической печи 2. Для определения и поддержки температуры в реакторе имеется термометр, который подключен к температурному регулятору 3. Скорость перемешивания битума с полимером регулируется с помощью мешалки 4, скорость вращения 1000 оборотов в минуту. Мешалка состоит из металлического пропеллера 5, регулятора скорости вращения пропеллера 6. Регулировку нагрева осуществляют увеличением напряжения пита-

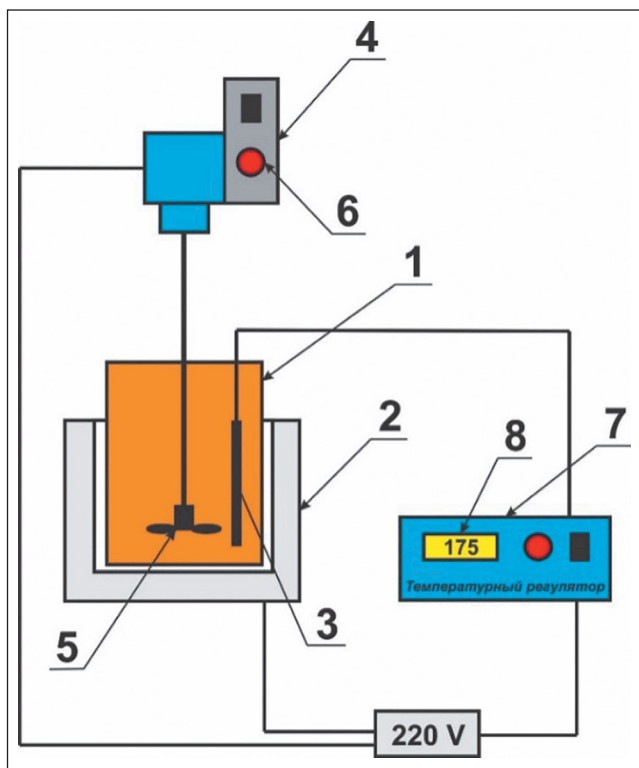


Рисунок 1 – Схема установки для приготовления полимербитумных вяжущих

ния печи через температурный регулятор 7. Температура процесса представлена на цифровом дисплее 8.

Навеска битума составляла в среднем 200 г. Перед проведением процесса модификации образец битума расплавляли до подвижного состояния (при температуре не выше 105 °С) и медленно добавляли полимерные отходы, готовый полимер и пластификатор в виде моторного масла марки Shell. Температура процесса поддерживалась в пределах 175 – 180 °С в течение 180 мин.

Для установления соответствия приготовленных смесей полимербитумных вяжущих определены следующие основные физико-механические характеристики: температура размягчения, глубина проникания иглы (пенетрация), растяжимость (дуктильность) и температура хрупкости по Фраасу.

Температуру размягчения определяют методом «Кольцо и шар» по СТ РК 1227. Пенетрация определяется пенетрометром по СТ РК 1226.

Растяжимость косвенно характеризует также прилипание (адгезию) битума и связан с природой его компонентов. Растяжимость определяли дуктилометром ЦКБ-974Н по СТ РК 1374. Температура хрупкости по Фраасу определяли на аппарате для определения температуры хрупкости битумов АТХ-04.

В качестве модификатора использовали готовый высокоэластичный полимер СБС-01-10 (стирол-бутадиен-стирол) для предотвращения расслаивания полимербитумных вяжущих. При введении данного модификатора в битум полимер-битумная

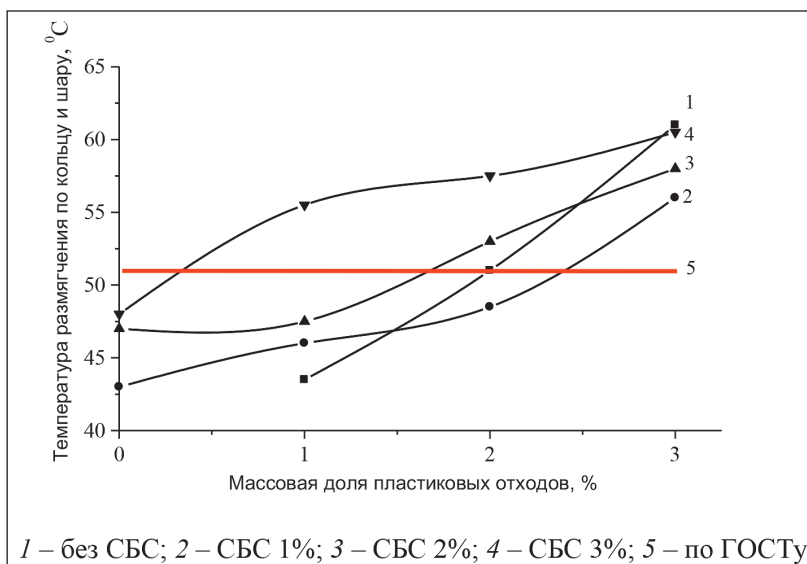
смесь становится мягкой и более пластичной при низкой температуре и более вязкой при высокой. Соответственно адгезия модифицированного битума увеличивается.

Электронно-микроскопические снимки модифицированных битумов были получены с помощью низковакуумного сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM-6490 LA.

**Результаты и обсуждение.** Одним из основных свойств, которым должно обладать полимербитумное вяжущее – однородность распределения качественных характеристик во всем объеме вяжущего. В ходе транспортировки на длительные расстояния, при производстве асфальтобетонной смеси полимербитумное вяжущее ненадлежащего качества может расслаиваться, образуя не однородную коллоидную систему, а распределение полимерных конгломератов или вовсе отслоение полимера от битума. В этом случае асфальтобетон, изготовленный на таком вяжущем не будет обладать прогнозируемой надежностью в местах разрыва полимера и битума, и укладывая участок дороги, подрядчик изначально не сможет гарантировать расчетную прочность асфальтобетона, а при эксплуатации дороги неизбежно будут возникать локальные «слабые» зоны, которые приведут к преждевременному разрушению дорожного покрытия.

Наиболее часто используемыми полимерами для модификации битума, а также утвержденными к использованию казахстанским стандартам являются стирол-бутадиен-стирольные каучуки.

Как видно из *рисунка 2*, с увеличением количества добавляемых полимерных отходов наблюдается повышение температуры размягчения, которая характеризует твердость материала. Без добавления СБС полимера и в присутствии только полимерного отхода в модификации битумов происходит небольшое смягчение битума, но затем при добавлении СБС полученный продукт отвердевает. Эти данные подтверждают гипотезу о постепенном уплотнении дорожного битума в присутствии

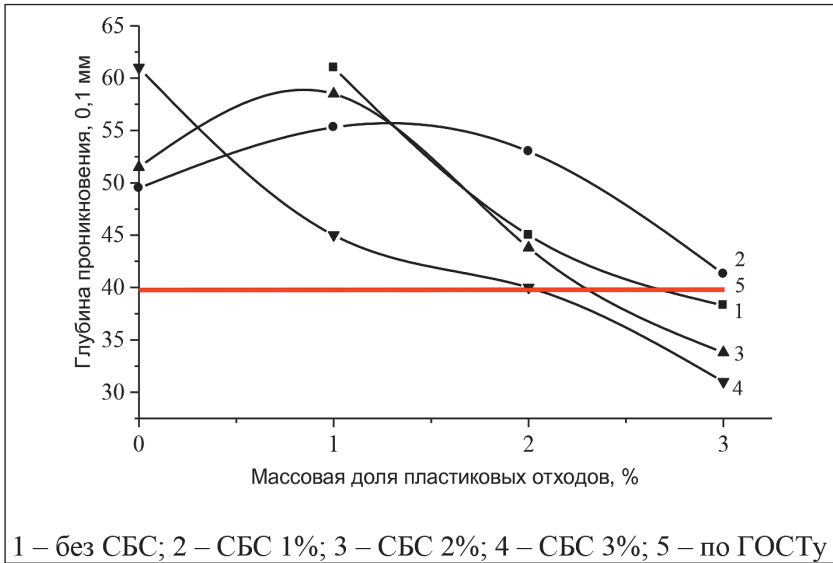


*Рисунок 2 – Изменение температуры размягчения от концентраций полимерных отходов*



СБС и полимерных отходов. Среди приготовленных образцов, вязущее с содержанием 2 и 3 мас. % полимерного отхода по показателям удовлетворяет требованиям технических условий на ПБВ 90.

На *рисунке 3* представлена зависимость изменения пенетрации модифицированного битума от количества вводимых полимерных отходов при различных соотношениях.



*Рисунок 3 – Изменение пенетраций от концентраций полимерных отходов*

Из графика видно, что в результате модификации битума полимерными отходами в присутствии СБС значение пенетрации понижается. Это объясняется тем, что в результате введения полимерных отходов в битум вязкость системы становится больше, что и уменьшают глубину проникновения иглы (пенетрацию) по сравнению с образцом без добавления СБС. В образцах 2 и 3 при добавлении 1% полимерного отхода повышается пенетрация, но затем понижается. Это связано, очевидно, с тем, что в результате термодеструкции полимерных отходов процесс набухания происходит быстрее в сравнении с обычными полимерами.

На *рисунке 4* представлена зависимость изменения растяжимости полимер-битумных вязущих от количества вводимых отходов. Растяжимость изменяется монотонно и достигает своего минимального значения 10 см при 3-х процентном содержании полимерного отхода. Это объясняется тем, что в процессе диспергирования полимерного отхода в объеме нерастворимых набухших полимерных частиц находятся смолы и полиароматические компоненты, влияющие на значение показателя растяжимости вязущего. Среди приготовленных образцов, вязущее с содержанием 1, 2 и 3 мас. % полимерного отхода по показателям удовлетворяет требования технических условий на ПБВ 90.

Изменение температуры хрупкости объясняется тем, что добавляются полимерные отходы, которые являются смесевым компонентом (*рисунк 5*). Показатель хрупкости вязущих в случае компаундирования с готовыми полимерами типа СБС

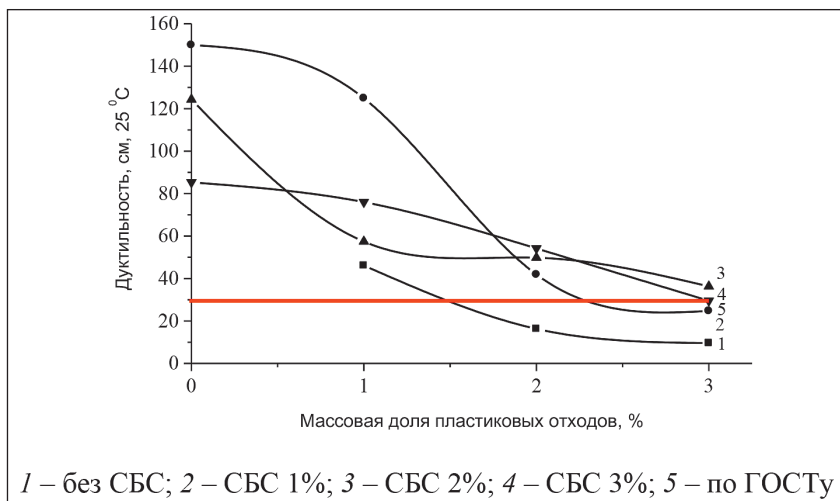


Рисунок 4 – Изменение растяжимости от концентраций полимерных отходов

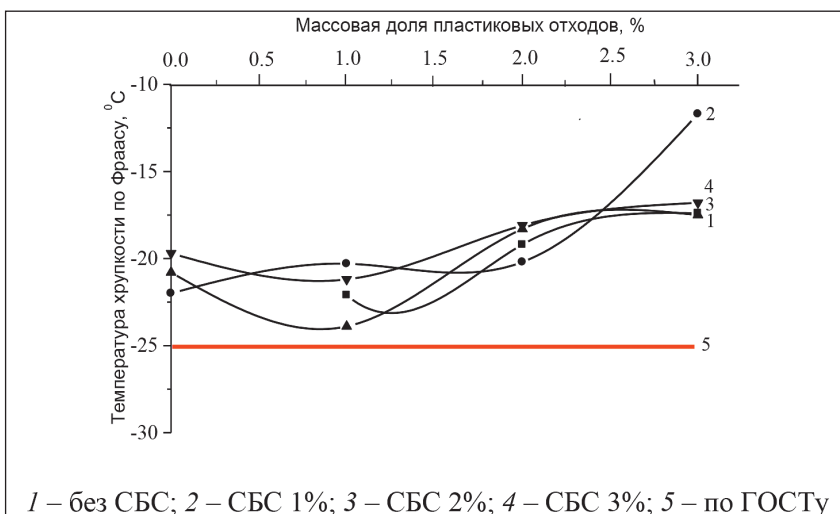


Рисунок 5 – Изменение температуры хрупкости по Фраусу от концентраций полимерных отходов

имеет более сложную зависимость, и увеличение концентрации СБС приводит к адсорбции мальтеновой составляющей битума, в то время полимерные отходы плохо реагируют с компонентами битума. Мальтеновая составляющая битума с большим количеством ароматических соединений способствует интенсивному набуханию, диспергированию и растворению полимера. Компоненты полимерных отходов, модифицированных полимером, стремятся сохранить на периферии своих мицелл углеводороды и смолы. То есть появляются пластичность. Это доказывает использование полимерных отходов в составе асфальтобетонной смеси, для улучшения устойчивости к колеобразованию. Предполагается, что полученный вязущий материал в целом обладает большей когезионной прочностью и высокими адгезионными свойствами, которые способствуют улучшению устойчивости модифицированной асфальтобетонной смеси к сдвиговым и динамическим деформациям.

Примечательно, что при изменении концентрации полимерной добавки на всем исследуемом диапазоне изменение пенетрации, температуры размягчения и растяжимости имеет отчетливый тренд, в то время как температура хрупкости «зависла» в пределах сходимости метода измерения и в среднем имеет значение в минус 20 °С, что говорит о насыщении коллоидной системы, когда процессы коагуляция полимера можно фиксировать при достижении данного значения температуры размягчения.

Полученное полимерно-битумное вяжущее целесообразно применять в климатических районах, где нет низких отрицательных температур земли (ниже минус 30 °С). Либо модернизировать рецептуру введением пластификатора, способного понизить температуру хрупкости. Поэтому далее проводили эксперименты введением пластификатора в виде моторного масла для снижения себестоимости получаемого продукта.

**Таблица 2 – Зависимость физико-механических характеристик полимербитумных вяжущих на основе битума БНД 100/130 с добавкой полимерных отходов от концентрации пластификатора**

Наименование показателей	Полимербитумные вяжущие					Требования по ТУ ПБВ 40
	Отход – 3%, масло – 0%	Отход – 3%, масло – 3%	Отход – 3%, масло – 5%	Отход – 3%, масло – 6%	Отход – 3%, масло – 10%	
Глубина проникания иглы при 25 °	38	49	68	76	94	Не менее 40
Температура размягчения, °	61	58	56	53	54	Не ниже 56
Растяжимость при 25 °	10	12	15	13	11	Не менее 15
Температура хрупкости, °	-17	-21	-21	-25	-31	Не выше -15

В *таблице 2* представлены физико-механические свойства полимербитумных вяжущих, приготовленных с добавкой полимерных отходов в количестве 3 мас. % при различных содержаниях пластификатора.

Как видно из *таблицы 2*, увеличение количества пластификатора до 10 мас. % приводит к увеличению глубины проникания иглы, понижению температуры размягчения до 53 °С и незначительному увеличению растяжимости. При этом добавка более 6 мас. % пластификатора не дает заметного изменения физико-механических свойств. Например, пенетрация увеличивается, но температура размягчения и растяжимость остаются на приблизительно одном уровне. Это объясняется тем, что присутствие пластификатора в системе приводит к полному распределению полимерного отхода в битуме и повышению прочности.

Установлено, что полимерные отходы в составе вяжущего выступает в роли частиц полимерного компонента, которые осуществляют дисперсно-эластичное армирование асфальтобетона. При этом частицы полимера полностью не разлагаются и не растворяются, а связываются с компонентами битума прочными, но достаточно подвижными химическими связями и проявляют свои качества уже в составе нового материала. В их составе битум выполняет функции жидкой или псевдожидкой термопластичной матрицы, а частицы полимерного отхода создают упругий силовой каркас в объеме вяжущего.

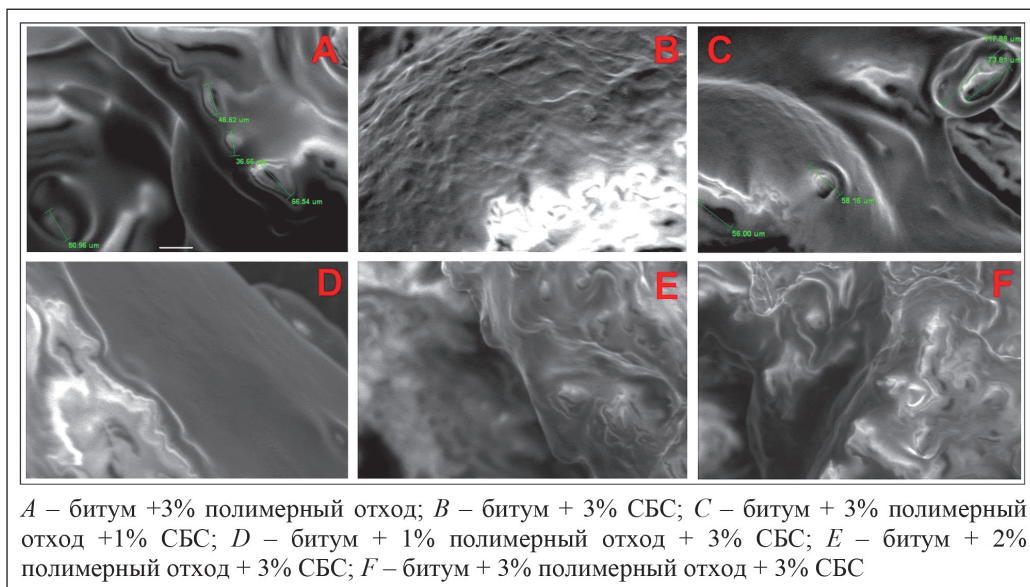


Рисунок 6 – СЭМ снимки модифицированных битумов

Полимербитумное вяжущее рассматривается как композиционный материал, в котором матрицей (средой) служит битум, а дисперсной фазой является полимер. Такие вяжущие по свойствам превосходят свойства битумов и полимеров, взятых в отдельности. Электронно-микроскопические исследования ПБВ показывают, что при небольших количествах полимерного отхода (1–2 % по массе) в ПБВ он способен растворяться в низкомолекулярной части битума – маслах. При больших добавках полимер распределяется в битуме в виде отдельных, не связанных между собой частиц [15]. Эффект их действия в композиции аналогичен влиянию наполнителя. При добавках 3 % и более происходит агрегация частиц и ихслияние (рисунок 6, А). При небольших концентрациях полимера композиции можно рассматривать как дисперсно-упрочненные. Такой эффект наблюдается при содержании дисперсной фазы в количестве до 3 % по объему.

При больших концентрациях полимера СБС в битуме композиции можно рассматривать как волокнистые или слоистые, которые имеют повышенную прочность и эластичность (рисунок 6, В). При добавлении 3 % полимерного отхода и 1 % СБС процесс диспергирования происходит не так сильно, из рисунка 6, С видны частицы полимерных отходов. Это в дальнейшем может вызвать микротрещины в битумной матрице.

Процесс смешения при высокой температуре битума с полимерами любой химической природы протекает в две стадии: эмульгирование размягченного полимера в жидком битуме и последующее частичное набухание или полное растворение. Глубина процесса диспергирования полимера в битуме при прочих равных условиях определяется химической природой и молекулярной массой полимера, химическим составом битума, а также соотношением компонентов в смеси.


Известно [16], что степень дисперсности таких систем при прочих равных условиях определяется соотношением вязкости компонентов, а также взаимной рас-

творимостью. В случае термодинамической несовместимости (нерастворимых или частично растворимых) компонентов предельный размер частиц в смеси зависит только от соотношения вязкостей и условий перемешивания, а смесь при повышенной температуре представляет собой эмульсию (рисунки б, С). С увеличением концентрации полимерного отхода происходит разрушение и дробление битумной структуры на более мелкие частицы, идет интенсивное перемешивание компонентов (рисунки б, Е).

Полимеры состоят из больших и разветвленных молекул. Они переплетены между собой и слабо подвержены тепловому движению. В интенсивном перемешивании компоненты битума быстро проникают в сетку полимера, адсорбируя масла битума и образуя дисперсную фазу. В случае с 3 %-ом содержанием полимерного отхода растет вероятность их коалесценции (слияния), приводящей к обращению фаз в системе. Так, стирол-бутадиен-стирол образует непрерывную фазу в битуме при введении в количестве не менее 3 % по массе (рисунки б, F). Для взаимно растворимых компонентов степень дисперсности системы дополнительно возрастает за счет взаимодействия компонентов на границе раздела фаз. Наличие в структуре стирол-бутадиен-стирольного полимера ароматических блоков обуславливает его сродство с нефтяным битумом, содержащим значительного количества ароматических соединений. В результате структура битумов, модифицированных полимером типа СБС, принципиально отличается от структуры битумных композиций с полимерными отходами. При температуре 175 °С смешения вследствие растворения полимера в мальтенах образуется гомогенная композиция. Предполагается, что это обеспечивает возможность повысить деформационную устойчивость асфальтобетона в широком диапазоне эксплуатационных температур, существенно повышая долговечность покрытий.

**Выводы.** Разработанная оригинальная рецептура полимерно-битумного вяжущего отличается улучшенными эксплуатационными характеристиками по сравнению с нефтяным битумом. Введение использованных полимерных отходов в качестве модификатора не требует установки дополнительного гомогенизатора (коллоидной мельницы), также нет необходимости вводить пластификатор для достижения нужной однородности системы и требуемой по казахстанскому стандарту ПБВ 40 и ПБВ 90.

Благодаря использованию данного технологического решения возможно нивелировать проблему утилизации бытовых полимерных отходов (ПЭТФ) с получением полимерно-битумного вяжущего.

Данный полимерный модификатор отличается дешевизной его получения. Достоинством использованной полимерной добавки является стадия приготовления полимера – процесса совместной химической деструкции вторичного ПЭТ в присутствии СБС для торможения расслаивания полимерных компонентов в битуме, благодаря которой решается проблема изготовления качественного усреднения продукта. 

*Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант № AP08856022), тема проекта «Модификация нефтяных битумов промышленными и бытовыми полимерными отходами».*

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Davide L.P. Recycled Tyre Rubber Modified Bitumens for road asphalt mixtures: A literature review // *Construction and Building Materials*. – 2013. – Vol. 49. – P. 863-881.
- 2 Piłat J., Radziszewski P., Kalabińska M.. The analysis of viscoelastic properties of mineral asphalt mixes with lime and rubber powder // 2nd Euroasphalt & Eurobitume Congress, Barcelona, Spain. – 2000. – P. 648-654.
- 3 Liu S., Cao W., Fang J., Shang S. Variance analysis and performance evaluation of different crumb rubber modified (CRM) asphalt // *Construction and Building Materials*. – 2009. – Vol. 23. – P. 2701-2708.
- 4 Zhu J., Birgisson B., Kringos N. Polymer modification of bitumen: Advances and challenges // *European Polymer Journal*. 2014. – Vol. 54. – P. 18-38.
- 5 Behnood A., Gharehveran M.M.. Morphology, rheology, and physical properties of polymer-modified asphalt binders // *European Polymer Journal*. 2019. – Vol. 112. – P. 766-791.
- 6 Imanbayev Y., Akkenzheyeva A., Bussurmanova A., Serikbayeva A., Boranbayeva A. Preparation of Polymer Bitumen Binder in the Presence of a Stabilizer // *Processes*. – 2021. – № 9. – P. 182. <https://doi.org/10.3390/pr9010182>
- 7 Raheel Shah, Arshad S.A., Waqar H., Saeed A., Hafeez M.H., Mansoor S., Sadiq J., Malik A.N. Saving Energy in the Transportation Sector: An Analysis of Modified Bitumen Application Based on Marshall Test // *Energies*. – 2018. – N 11. – P 3025. <https://doi.org/10.3390/en11113025>
- 8 Ponnada S., Krishna V. .Experimental investigation on modification of rheological parameters of bitumen by using waste plastic bottles // *Materials Today: Proceedings* – 2020. – N 32. – P. 692-697.
- 9 Vargas C., El Hanandeh A. Systematic literature review, meta-analysis and artificial neural network modelling of plastic waste addition to bitumen // *Journal of Cleaner Production*. – 2021. – Vol. 280, Part 1. – P. 124369
- 10 Amir M., Hamidreza H. Developing laboratory fatigue and resilient modulus models for modified asphalt mixes with waste plastic bottles (PET) // *Construction and Building Materials*. – 2014. – Vol. 14. – P. 259-267.
- 11 Y. Erkuş, B.V. Kök, M. Yılmaz Evaluation of performance and productivity of bitumen modified by three different additives // *Construction and Building Materials*. – 2020. – Vol. 261. – P. 120553.
- 12 Ahmedzade P., Fainleib A., Günay T., Grygoryeva O. Modification of bitumen by electron beam irradiated recycled low density polyethylene. *Construct // Build. Mater.* – 2014. – N 69. – Pp. 1-9, [10.1016/j.conbuildmat.2014.07.027](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.07.027)
- 13 Ahmedzade P., Gunay T., Grigoryeva O., Starostenko O. Irradiated recycled high density polyethylene usage as a modifier for bitumen // *J. Mater. Civ. Eng.* – 2017. – Vol. 29, N 3. – 1943-5533.0001757
- 14 Al-Abdul Wahhab H.I., Dalhat M.A., Habib M.A. Storage stability and high-temperature performance of asphalt binder modified with recycled plastic Road // *Mater Pavement*. – 2017. – Vol. 18, N 7. – Pp. 1117-1134, [10.1080/14680629.2016.1207554](https://doi.org/10.1080/14680629.2016.1207554)
- 15 Sengoz B., Topal A.G. Isikyakar Morphology and image analysis of polymer modified bitumens // *Construction and Building Materials*. – 2009. – Vol. 23, Is. 5. – P. 1986-1992.
- 16 Duarte G.M., Faxina A.L. Asphalt concrete mixtures modified with polymeric waste by the wet and dry processes: A literature review // *Construction and Building Materials*. – 2021. – Vol. 312. – P. 125408.