

MPHTI 61.01.91

А.Т. Кабылбекова¹ – основной автор, ©
Е. Тілеуберді², Х.И. Акбаров³, К.К. Сырманова⁴,
А.С. Унгарбаева⁵, Е.К. Онгарбаев⁶, Е.И. Иманбаев⁷



^{1,5}Докторант, ²Ведущий научный сотрудник, ассоциированный профессор,
^{3,4}Д-р техн. наук, профессор,
⁶Зав. лабораторией нефтехимических процессов, профессор,
⁷Ведущий научный сотрудник

ORCID

¹<https://orcid.org/0000-0003-4167-6800> ²<https://orcid.org/0000-0001-9733-5015>
⁴<https://orcid.org/0000-0002-1468-6440> ⁶<https://orcid.org/0000-0002-0418-9360>
⁷<https://orcid.org/0000-0001-8273-0020>



^{1,5}Таразский региональный университет имени М.Х. Дулати,
г. Тараз, Казахстан
^{2,6,7}Институт проблем горения, г. Алматы, Казахстан
²Казахский Национальный педагогический университет имени Абая,
г. Алматы, Казахстан
³Национальный университет Узбекистана им. Мирзо Улугбека,
г. Ташкент, Республика Узбекистан
⁴Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, г. Шымкент, Казахстан
⁶КазНУ им. Аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

@

¹aika_kabil@mail.ru

<https://doi.org/10.55956/GNNV1003>

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МОДИФИКАТОРОВ В БИТУМНЫХ КОМПОЗИЦИЯХ

Аннотация. Возможность получения разнообразных технически ценных материалов на основе полимеров привело к увеличению удельного потребления полимеров в мире и данный показатель продолжает увеличиваться. Экономия и рациональное использование сырьевых, топливно-энергетических и других материальных ресурсов предусматривает повышение эффективности использования вторичных материальных ресурсов. Установлено, что в настоящее время проблема переработки отходов полимерных материалов обретает актуальное значение не только с позиции охраны окружающей среды, но и связана с тем, что в условиях дефицита полимерного сырья пластмассовые отходы становятся мощным сырьевым и энергетическим ресурсом.

Выявлено, что переработка различных видов вторичного полимерного сырья развита недостаточно и, необходимо внедрять новые технологии повышения уровня его использования. Для достижения этих целей, а также предотвращение загрязнения окружающей среды миллионами тонн полимерных отходов необходимо решить основные вопросы этой проблемы: организация сбора отходов производства и отходов сферы потребления; разделение полимерных отходов на категории, подлежащие переработке или утилизации; выбор необходимых методов модификации для улучшения качества вторичного полимерного сырья. Модифицирование различными полимерными добавками, позволит регулировать свойство сырья и битумов с получением товарных битумов улучшенного качества.

В статье рассмотрен обзор полимеров – модификаторов битума, повышающих прочностные показатели, водостойкость, улучшающих деформативную способность материала во всем интервале эксплуатационных температур.

Показана возможность улучшения физико-механических свойств нефтяных битумов, что позволит получать полимербитумные вяжущие с улучшенными пластичностью, теплостойкостью и низкотемпературными свойствами, а также расширить ресурсы для производства дорожных битумов.

Ключевые слова: полимер, модификатор, полимерные отходы, битум, дорожная отрасль, качество.



Кабылбекова, А.Т. Эффективность использования полимерных модификаторов в битумных композициях [Текст] / А.Т. Кабылбекова, Е. Тілеуберді, Х.И. Акбаров, К.К. Сырманова, А.С. Унгарбаева, Е.К. Онгарбаев, Е.И. Иманбаев // Механика и технологии / Научный журнал. – 2024. – №3(85). – Б.299-316. <https://doi.org/10.55956/GNNV1003>

Введение. В настоящее время производство полимеров представляет собой одну из наиболее динамично развивающихся отраслей промышленности. К 2030 году рост производства полимеров прогнозируется до 812 млрд. долл. США. Мировое потребление только двух базовых полимеров в 2022 году составило 207 млн тонн (42% – полипропилен, 58% – полиэтилен). К 2025 году рост прогнозируется на 26 млн тонн. Темп строительства новых производственных мощностей ускорился. Лидером по производству по-прежнему остается США. Но Китай ежегодно наращивает собственные мощности, и уже стал вторым по объему выпуска базовых полимеров. В развитых странах удельное потребление полимерных материалов достигло 85-90 кг на человека в год и продолжает расти. Это связано с тем, что полимеры позволяют создавать разнообразные материалы с ценными техническими характеристиками. Благодаря своим уникальным физико-химическим, конструкционным и технологическим свойствам, полимерные материалы находят широкое применение в различных сферах, включая промышленность и медицину.

С увеличением производства полимерных изделий различного назначения становится все более актуальной проблема их утилизации. Полимеры, которые уже вышли из эксплуатации, обычно отправляются на захоронение, но из-за их практически неразлагаемой природы они наносят серьезный вред окружающей среде.

Одним из решений может быть использование переработанных полимеров в качестве модификатора битума. Это позволит создать полимерно-битумное вяжущее, которое, в отличие от обычного битума, будет обладать более широким диапазоном рабочих температур и эластичными свойствами.

Проблема повышения качества битумов и асфальтобетонов является одной из приоритетных в дорожной отрасли всех стран.

Эффективность использования дорожных покрытий, изготовленных на полимерно-битумных вяжущих (ПБВ), подтверждается зарубежным опытом. Например, в США расходы на эксплуатацию дорожных участков, построенных с применением ПБВ, за 20 лет оказались на 10-30% ниже, чем там, где использовался обычный битум. На Аляске доля покрытий на ПБВ вплотную подошла к 50%. В Китае битумные вяжущие с 2000 года стали обязательными при строительстве новых высокоскоростных дорог.

Обсуждение научных результатов. Улучшение эксплуатационных свойств битума модифицирующими полимерными добавками. На земле на данный момент более сорока миллионов километров дорог из асфальта, но асфальт недолговечен и каждому государству постоянно приходится тратить

налоги на его ремонт только представьте в какую сумму обходиться 1 триллион 600 миллионов тонн нового асфальта. На сегодняшний день одна из острых проблем в дорожном строительстве – получение качественного и долговечного дорожного покрытия. Автомобильные дороги в нашей стране служат в 2-3 раза меньше, чем в европейских странах. Срок службы дорог может быть увеличен при использовании полимерных материалов, увеличивающих эластичность асфальтового покрытия. При этом снижается образование колеи летом и уменьшается образование трещин в зимних условиях. Это способствует увеличению безопасности движения автомобилей и росту срока службы дорожных покрытий.

Качество битума в значительной степени определяет качество и сроки службы дорожных асфальтобетонных покрытий, поскольку все характерные особенности свойств асфальтобетона как термопластичного материала определяются свойствами битума. Например: статистический анализ показывает, что продолжительность эксплуатации дорожного покрытия в составе минерального битума составляет всего 50-70% от стандартных проходов. Термическая стабильность битумных материалов также низкая, что ограничивает использование изделий из них как жарким летом, так и зимой, особенно в районах с экстремальным континентальным климатом. Нефтехимические битумы имеют низкие характеристики с точки зрения альтернативной деформации. Общий вид нефтяного битума приведен на рисунке 1.



Рис. 1. Общий вид нефтяного битума

Все эти недостатки приводят к снижению долговечности материалов, в которых они являются связующим и пропитывающим компонентом [1-3].

Современные требования строительства к качественным материалам предполагают использование доступного и экономичного сырья, способного обеспечить высокие эксплуатационные характеристики дорожных покрытий. Введение полимерных модификаторов в битум позволяет расширить температурный диапазон его применения, повысив устойчивость материала к экстремальным температурам и улучшив его адгезионные свойства. Асфальтобетон, обогащенный полимерами, демонстрирует повышенную прочность, водостойкость и улучшенные деформационные характеристики в широком диапазоне эксплуатационных температур [4-5].

Модифицирующие полимерные добавки. Ключевыми критериями при выборе полимерных добавок для модификации битумов выступают эксплуатационные характеристики готовой продукции, совместимость и

технологичность взаимодействия битумов с полимерами, а также доступность и стоимость самих модифицирующих компонентов.

Полимеры, используемые в сочетании с битумом, делятся на 4 группы в зависимости от их механических свойств и нагревательного поведения:

Эластомеры. Они упругие. При нагревании до точки плавления разлагаются. Эластомеры, например, включают полибутадиен, полиуретан, полиизопрен (каучук) [6-8].

Термопласты (пластомеры). При нагревании они становятся пластичными. Их можно нагреть до того, как они станут жидкими, а после охлаждения снова нагреть и придать форму. Добавление термопласта к битуму может увеличить вязкость композиции. К ним относятся полиэтилен, полистирол, поливинилхлорид и этиленвинилацетат (EVA), применяемые для модификации битума около 30 лет [9]. Добавление пластомеров увеличивает вязкость и жесткость битумов при нормальных рабочих температурах (от 30°C до 60°C), однако пластомеры не влияют на эластичность модифицированных битумов. При нагревании улучшенных битумов пластомерами наблюдается тенденция к разделению битумной и полимерной фаз, то есть такие битумы нестабильны при хранении, поэтому их нужно готовить непосредственно перед использованием на асфальтовом заводе [10].

К числу используемых чистых полиолефинов относятся полиэтилен и сополимеры, такие как сополимер этилена и винилацетата (EVA) и другие. Эти материалы увеличивают жесткость битума во всем температурном диапазоне и повышают его устойчивость к постоянным деформациям. Однако такие модификаторы не улучшают свойства битума при низких температурах (хотя это не всегда проявляется в испытаниях на предел прочности по Фраасу). Специалисты из Бразилии и Австралии также обнаружили, что вяжущие материалы, модифицированные EVA, демонстрируют низкое сопротивление растрескиванию даже при умеренных температурных условиях [11-12].

Термоэластопласты (термопластичные эластомеры) обладают свойствами как эластомеров, так и термопластов. Они остаются пластичными в битуме во время приготовления и уплотнения смеси, а при эксплуатации покрытия проявляют упругие свойства, придавая вяжущему эластичность [13].

Термоэластичные искусственные материалы размягчаются при температурах выше обычных рабочих и демонстрируют хорошую деформируемость. Эти полимеры обладают упругими свойствами, такими как восстановление первоначальных размеров после воздействия механических нагрузок или повышения температуры. Среди них блок-сополимеры SBS стали основным модификатором битума. По оценкам, на их долю приходится более 65% рынка, тогда как оставшаяся часть менее 35% делится между десятком других полимеров. SBS блок-сополимеры могут образовывать поперечные межмолекулярные связи с молекулами асфальтена битума, формируя трехмерные структуры, которые обеспечивают сопротивление деформации при высоких температурах, устойчивость к трещинам при низких температурах и высокую усталостную прочность [14-15].

Термореактивные смолы – это сшитые полимеры, которые формуются и обрабатываются до стадии сшивания. После завершения процесса сшивания изменить их форму невозможно. Примерами являются эпоксидная смола и поликарбонат [16].

Помимо модификации битума физическими процессами, также существуют случаи химических реакций, таких как вулканизация,

происходящих при производстве модифицированных вяжущих. Модификация битума может осуществляться не только синтетическими полимерами, но и натуральной каучуковой пудрой или латексами.

Наиболее доступные и сравнительно недорогие полимерные материалы, устойчивые к термоокислительной деструкции и производимые химическими предприятиями стран СНГ, включают в себя сополимеры этилена с пропиленом, бутилкаучуки и полиэтилен, которые относятся к классу полиолефинов [17-18]. Полиэтилен (ПЭ) является одним из самых распространенных полимеров. Его свойства могут значительно различаться в зависимости от условий полимеризации, таких как температура, давление, реакционная среда и тип катализатора. Полиэтилен может быть как низкомолекулярным и воскообразным, так и высокомолекулярным. Он также оказывает влияние на характеристики полимер-битумных композиций. Например, полиэтилен с молекулярной массой 500-1000 практически не изменяет свойства таких композиций. Однако полиэтиленовый воск с молекулярной массой 1000-10000 существенно увеличивает температуру размягчения и снижает температуру хрупкости [19].

Постоянно растущие требования к качеству и эксплуатационным характеристикам битумных материалов уже не могут быть удовлетворены только за счет оптимизации выбора сырья и совершенствования технологий его производства. В таких случаях применяется их модификация. Одними из наиболее распространенных методов являются использование наполнителей, поверхностно-активных веществ, а также полимерных добавок или производственных отходов полимеров. Среди добавок, модифицирующих битум, можно выделить различные поверхностно-активные вещества, которые улучшают адгезионные свойства битумов, а также полимеры, каучуки и резину, способствующие улучшению деформационных характеристик. Кроме того, могут использоваться добавки в виде тонкодисперсных порошков или волокон, которые оказывают структурирующее и стабилизирующее воздействие на битум. Существует множество методов введения в битум различных модифицирующих компонентов, включая адгезионные добавки, полимеры, резиновую крошку, природные битумы, серу и различные структурирующие и стабилизирующие компоненты [20-23].

Однако, рассматривая вопрос доступности термопластичных полимеров, их стоимости, стоимости конечного продукта перспективным является вопрос применения отходов полимеров, в частности полиэтиленовых отходов для модификации битумных вяжущих (рис. 2, 3). Вторичному ПЭНП свойственны невысокая адгезия, водонепроницаемость, высокая химическая устойчивость. Тонкий слой такого материала достаточно прозрачен. Отходы полиэтилена образуются ежедневно. Повсеместное использование полимера на производствах, строительных площадках, складах, магазинах или в быту обеспечивает огромное количество ненужного мусора. Его доля составляет более 9% в общей массе загрязнений на планете.



Рис. 2. Фотография вторичного полиэтилена (ПЭНП)



Рис. 3. Внешний вид образцов вторичного полиэтилентерефталата (ПЭТФ)

В работе Г.А. Бонченко [24] с целью решения вопроса о применении вторичного (постаревшего) полиэтилена в асфальтобетонных смесях были проведены экспериментальные исследования физико-механических свойств полиэтилена низкой плотности (пленка сельскохозяйственного назначения, бывшая в употреблении 6-8 месяцев) и полиэтилена высокой плотности (упаковочный материал и тара). В таблице 1 представлены Физико-механические показатели первичного и вторичного ПЭ.

Таблица 1

Физико-механические показатели первичного и вторичного ПЭ [24]

№	Показатель	Первичный ПЭ		Вторичный ПЭ	
		ПЭНП	ПЭВП	ПЭНП	ПЭВП
1.	Предел прочности при растяжении, МПа	16	22-45	8,8-10	14-29
2.	Относительное удлинение при разрыве, %	600-800	300-500	170-220	100-250
3.	Морозостойкость, °С	-70 и ниже	-40...-50	-30...-40	

Результаты исследований, приведенные в таблице 1, показали, что вторичный полиэтилен сохраняет достаточно высокие прочностные и деформационные показатели и может использоваться в качестве модифицирующей добавки к битумам.

Разделение полиэтилена на продукты низкого и высокого давления является неточным, т.к. при высоком давлении (7000 атм) можно получать полиэтилен линейной структуры, свойства которого подобны свойствам полиэтилена низкого давления.

Физико-механические свойства полиэтилена разной плотности приведены в табл. 2.

Таблица 2

Физико-механические свойства полиэтилена [25]

Свойства	Виды полиэтилена			
	А	Б	В	Г
Плотность, кг/м ³	320-330	935-950	960	940-955
Предел прочности, МПа:				
– при растяжении	8,4-17,5	19,5-38,5	28-35	18-28,5
– при сжатии	12,5-21,0	–	–	–
– при изгибе	12,0-17			
Относительное удлинение, %	150-600	100-800	200-400	200-380
Молекулярный вес	1500-35000	25000 100000	30000 140000	-
Примечание: А – полиэтилен, полученный полимеризацией этилена в газовой фазе; Б – то же, в присутствии катализатора Циглера; В – то же, в присутствии катализатора Филлипса; Г – то же, под давлением 7000 атм.				

Анализ производства полимеров в Республике Казахстан. По данным источника GreonEnergy [26] максимальное потребление базового полимерного сырья в РК зафиксировано в 2013-2014 годах – около 300 тыс. тонн в год. В 2015 г. оно сократилось до 255 тыс. тонн: после девальвации подорожал импорт, снизился спрос у производителей полуфабрикатов и готовых пластиковых изделий. В минувшем году рынок начал восстанавливаться: рост переработки ПЭ и ПП подстегнул общее потребление, которое выросло до 271 тыс. тонн (рис. 4).

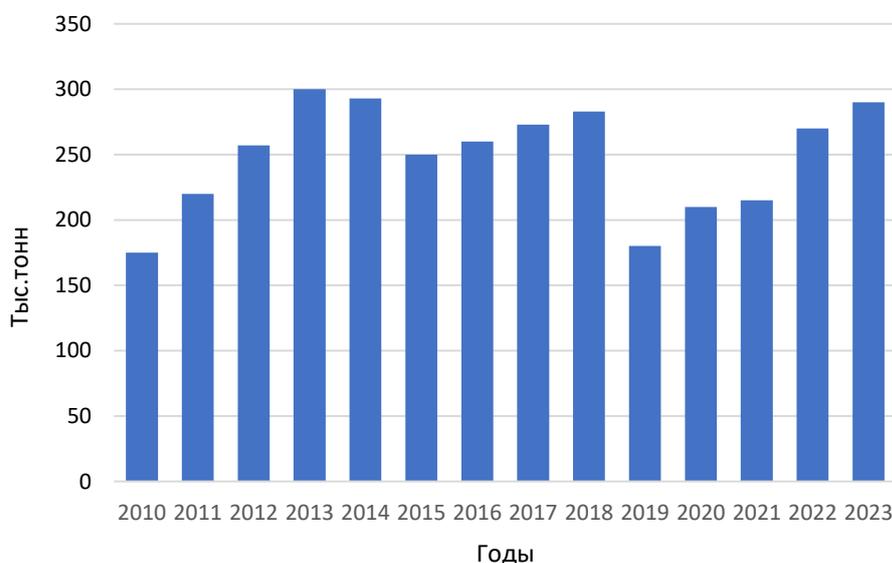


Рис. 4. Потребление полимеров в Республике Казахстан (2010-2023 г.г.)

По данным источника GreonEnergy [26] рынок РК еще очень далек от насыщения, если сравнивать с мировыми показателями. Среднедушевое потребление полиэтилена в Казахстане составляет 6 килограммов на одного человека, что в два раза меньше российского показателя и в пять раз меньше, чем в странах Европы. По полипропилену разница еще больше – в 4 и 12 раз, соответственно. Отрасль демонстрирует быстрый рост. За последние пять лет внутренний спрос на полимеры увеличился более чем в два раза и сейчас

составляет около 240 тысяч тонн, из которых 67 тысяч тонн приходится на полипропилен, а 173 тысячи тонн – на полиэтилен. По оценкам экспертов, среднегодовой рост рынка полимеров в Казахстане составил 4%, и к 2030 году ожидается почти двукратное увеличение спроса на полипропилен и полиэтилен, превысив отметку в 400 тысяч тонн в год [27].

В Республике Казахстан вследствие деятельности химических предприятий накопилось значительное количество промышленных отходов [28-29]. Основная часть этих отходов состоит из химических веществ. Структура пластиковых отходов по типам полимеров представлена на рисунке 5.

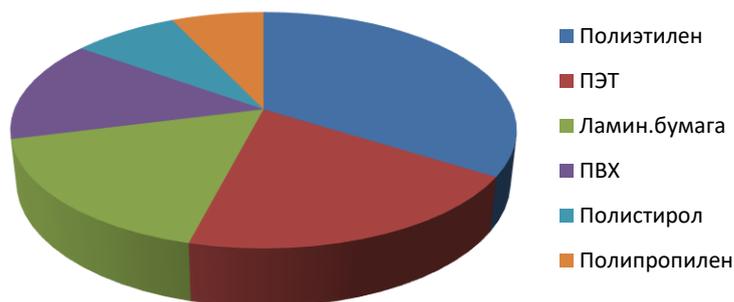


Рис. 5. Структура пластиковых отходов по видам полимеров

В промышленных развитых странах уже на протяжении десятилетий применяется технология улучшения битума с помощью полимерных добавок. Внедрение битумов, модифицированных полимерами и специальными добавками, связано с разработкой новых асфальтобетонных смесей. Помимо технических аспектов, выбор технологии определяется экономическими факторами, которые играют ключевую роль. Различные виды дорожных покрытий предъявляют разные требования к процессу производства. С экономической точки зрения, это не всегда способствует достижению более высокого качества дорожного покрытия. Лишь когда технология становится экономически эффективной, можно извлечь из нее максимум пользы и обеспечить её широкое применение.

Стоимость полимербитумов прямо пропорциональна количеству добавленного полимера, который, в свою очередь, влияет на качество готового продукта. В настоящее время, основная доля мирового потребления битума приходится на обычные битумы. Даже в пределах одной страны процентное соотношение может изменяться из года в год. Согласно данным Европейской ассоциации асфальтового покрытия, в большинстве европейских стран за последние три года доля полимербитумов в общем объеме битума, используемого для дорожного строительства, обычно составляет менее 20% [27-29].

Перспективы использования полимерно-битумных вяжущих. Модифицированные битумы считаются наиболее предпочтительными вяжущими для создания защитных и гидроизоляционных слоев в покрытиях искусственных сооружений, благодаря их способности выдерживать повышенные изгиб и растяжение, вызванные условиями эксплуатации этих конструкций.

Сейчас до 90% производимых в мире товарных битумов потребляется дорожной отраслью. Но обычный битум не подходит для дорог, испытывающих значительные нагрузки. Поэтому качество битума повышают за счет регулирования его характеристик с помощью модифицирующих добавок. Среди новых материалов, используемых в качестве покрытия, во всем мире самым лучшим признан асфальтобетон, приготовленный на основе полимерно-битумных вяжущих. В мире накоплен значительный опыт применения в строительстве и ремонте дорожных покрытий материалов на основе битума и модификаторов. В России доля полимерно-битумных вяжущих в дорожном строительстве не превышает 5% против 15% в США, Индии, Китае и почти 20% в европейских странах. Это негативно сказывается на качестве наших автомобильных дорог.

Экономичным и технологичным способом улучшения характеристик асфальтобетонных покрытий автодорог является частичная замена битума переработанным пластиком, которая позволит решить проблему загрязнения окружающей среды и улучшит практические характеристики дорожного покрытия. Актуальная тенденция ресурсосбережения в производстве дорожных конструкций реализуется комплексной утилизацией полимерных отходов, которые позволяют усилить гидрофобность и износостойкость асфальтобетонных полотен. Рост популярности пластиковых дорог по планете повлек за собой появление новых проектов отличных от изначальной технологии. Каждая страна имеет свои особенности. В Индии до сих пор работают по технологии предложенной Раджагопалан Васудеван. Специалисты используют отсортированный очищенный и измельченный пластик. Его расплавляют и потом добавляют горячему битуму. Далее нагретую до 160 градусов смесь выливают на камне или заполняют ею выбоины в дороге. Битума в такой смеси не более 10 процентов. Укладка производится классическим способом с использованием асфальтоукладчика.

А вот голландская компания VolkerWessels немного подредактировала индийскую технологию, ее особенность – это еще большее количество пластиковых отходов. Из вторсырья отливаются плиты с пустотами. Потом прокладывают коммуникации и устанавливают разные датчики их укладывают на подушку из уплотненного песка. Что позволяет значительно сократить время дорожных работ [30].

Модифицированные битумы имеют значительно более высокую стоимость по сравнению с обычными битумами, используемыми в дорожном строительстве. Решение об их применении зависит от различных факторов, таких как тип и конструкция дорожного покрытия, климатические условия, особенности выполнения работ и экономическая ситуация. Однако использование модифицированных битумов позволяет снизить эксплуатационные расходы на обслуживаемые участки дорог благодаря увеличению межремонтных интервалов.

ПБВ является трехкомпонентной системой, поэтому изменение качества одного из компонентов неизбежно влечет за собой изменение качества самого ПБВ.

Наиболее существенные изменения, в частности изменение марки ПБВ при заданном составе, могут иметь место при изменении марки исходного битума или типа его дисперсной структуры.

Полимерно-битумные вяжущие (ПБВ) – материалы на основе традиционных битумов с добавлением полимеров типа СБС (стирол-бутадиен-стирол) и пластификатора.

ПБВ по сравнению с традиционным битумом имеет лучшие показатели качества:

- повышенную сопротивляемость к деформации;
- улучшенные свойства при высоких и низких температурах;
- повышенное сопротивление износу.

Были сформулированы принципы выбора компонентов для получения полимерно-битумных вяжущих (ПБВ), которые приведены в таблице 3.

Соблюдение этих принципов позволяет получить однородные ПБВ при минимальных затратах, свойства которого можно регулировать в широких пределах.

Таблица 3

Принципы выбора компонентов ПБВ [31]

№	Принципы выбора компонентов ПБВ
1	Совместимость
2	Кинетическая устойчивость – плотности компонентов не должны отличаться от плотности ПБВ более чем на 10%
3	Максимально допустимый размер зародыша частицы дисперсной фазы не должен превышать 100 нанометров
4	Эластичная структурная сетка в ПБВ должна образовываться во всем объеме при минимальном содержании полимера
5	Должна быть обеспечена возможность одновременного повышения теплостойкости и трещиностойкости ПБВ
6	Требуемые нормы по токсичности, пожаробезопасности и технологичности должны быть не ниже, чем для битумов

Полимерно-модифицированные битумы классифицируют в зависимости от применяемой в их составе группы полимера и значения показателя глубины проникания иглы при температуре 25°C в соответствии с таблицей 4.

Таблица 4

Марки полимерно-модифицированного битумов [32]

Группа полимеров	Обозначение марки	Глубина проникания иглы при температуре 25°C, 0,1 мм
Блок-сополимеры типа СБС	ПМБ 100/130	101-130
	ПМБ 70/100	71-100
	ПМБ 50/70	51-70
	ПМБ 35/50	35-50

Модификация битума полимером качественно изменяет свойства вяжущего, причем необходимое для этого количество полимера составляет всего несколько процентов (как правило, 2,5-6%). Благодаря этому, можно добиться радикального улучшения свойств, вяжущего при его умеренном удорожании [33-38].

Основная цель добавления полимера в битум заключается в снижении температурной чувствительности вяжущего, то есть в увеличении его жесткости в летний период и уменьшении в зимний. Вторая цель – придание вяжущему эластичности, что позволяет ему восстанавливать первоначальные размеры и форму после значительных деформаций. Если эти цели достигнуты, то дорожно-строительный материал на основе полимерно-битумного вяжущего (ПБВ) будет обладать повышенной устойчивостью к остаточным

деформациям (колеи) в летний период, поперечным температурным трещинам зимой, а также повышенной устойчивостью к усталостным трещинам при многократных изгибах.

Однако выбор модифицированного битума зачастую представляет собой сложную задачу из-за множества возможных вариантов модификации.

Проблемой модификации нефтяных битумов полимерами начали заниматься давно. Первые упоминания об использовании полимеров (натурального каучука) для улучшения свойств битумов относятся к прошлому веку. Затем стали применять битумы, модифицированные резиновой крошкой (гидроизоляционный материал «Бризол» и др.) [39]. В настоящее время наибольший интерес вызывает применение эластомеров и синтетических термоэластопластов, например, дивинил-стирольного термоэластопласта, поскольку они обладают высокими низкотемпературными деформационными характеристиками и придают таковые битуму [40].

Заключение. Таким образом, к настоящему времени почти все основные типы промышленных полимеров -линейных термопластов, эластомеров (каучуков), термоэластопластов и ряд олигомеров (эпоксидные, фурановые и др. смолы) опробованы в качестве модификаторов нефтяных битумов. Результаты неравноценны, хотя и в большинстве случаев положительны в плане улучшения отдельных технических свойств.

Задача оптимизации состава битумно-полимерных композиций различного назначения становится все более актуальной. Это обусловлено необходимостью достижения баланса между техническими характеристиками (технологическими и эксплуатационными, включая долговечность) и экономическими аспектами, особенно учитывая значительно более высокую стоимость полимеров по сравнению с битумом. Основной задачей в оптимизации битумно-полимерных композиций является обеспечение совместимости и взаиморастворимости битума и полимера. Совместимость зависит от таких факторов, как химическая природа полимера, его молекулярная масса и применяемая технология, а также от химического и группового состава битума, особенно его мальтеновой фракции. В настоящий момент исследования в этой области ограничены, что связано со сложностью строения битумов и трудностью идентификации их компонентов.

Действительно, появилось много новых технологий в дорожном строительстве благодаря улучшению битумов добавкой небольшого количества полимера. В среднем добавки полимеров позволяют в 1,4-1,8 раза улучшить основные показатели битума. Применение полимеров в качестве модификаторов дорожного битума позволяет заметно улучшить качество дорожного асфальтобетона в покрытиях, увеличить их сдвигоустойчивость, морозо- и трещиностойкость, водостойкость.

Установлено, что полимерные модификаторы позволяют в 5-10 раз повысить срок службы не только дорожных, но и кровельных покрытий, доведя межремонтный цикл эксплуатации до 15-25 лет вместо 2-5 лет для покрытий из традиционных битумных материалов. Тем самым, значительно экономятся материальные, трудовые и энергетические ресурсы, уменьшается материалоемкость покрытий за счет снижения количества слоев в ковре (для кровельных материалов) от 3-5 для традиционных материалов до 1-2 – для полимер-битумных.

Список литературы

1. Мукаев, И.С. Исторические аспекты использования нефтяных битумов в производстве асфальтобетонных смесей: На примере дорожно-строительных предприятий г. Уфы [Текст]: дисс. ... канд. техн. наук: 07.00.10 / И.С. Мукаев. – Уфа, 2020. – 24 с.
2. Гохман, Л.М. Совершенствование нормативных требований к дорожным органическим вяжущим материалам в странах СНГ [Текст] / Л.М. Гохман // Сборник статей и докладов ежегодной научной сессии «Ассоциация исследователей асфальтобетона». – М.: МАДИ (ГТУ), 2018. – С. 12-21.
3. Сырманова, К.К. Товарные нефтепродукты [Текст]: учебник / К.К. Сырманова, Т.В. Ривкина. – Шымкент: Издательство «Әлем», 2016. – 191 с.
4. Евдокимова, Н.Г. Разработка научно-технологических основ производства современных битумных материалов как нефтяных дисперсных систем [Текст]: дис. д-р. техн. наук: [?] / Н.Г. Евдокимова. – Москва. 2015. – 417 с.
5. Ахмадова, Х.Х. Модифицирование битумов различными добавками – как способ улучшения качества дорожных битумов [Текст] / Х.Х. Ахмадова, А.А. Ибрагимов, Ж.Т. Хадисова, Э.У. Идрисова // Актуальные теории, концепции, прикладной характер современных научных исследований: сборник научных статей по итогам Международной научно-практической конференции. – СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2019. – С. 104-109.
6. Князев, Ю.В. Использование полимерных материалов для модификации дорожного вяжущего [Текст] / Ю.В. Князев, В.В. Буданцев, В.А. Фролов, С.А. Меркулов // Молодой ученый. – 2015. – № 12 (92). – С. 198-200.
7. Муллахметов, Н.Р. Модификация дорожных битумов каучуком [Текст] / Н.Р. Муллахметов, А.Ф. Кемалов, Р.А. Кемалов, Р.Н. Костромин // Вестник Казанского технологического университета. – 2010. – № 7. – С. 467-468.
8. Лукша, О.В. Модифицирование окисленного битума стирол-бутадиен-стирольными сополимерами различного строения [Текст] / О.В. Лукша, О.Н. Опанасенко, Н.П. Крутько, Ю.В. Лобода // Журнал прикладной химии. – 2006. – Т.79. – № 6. – С. 1030-1034.
9. Cheremisinoff N. Condensed Enciclopedia of Polymer Engineering Terms. – Oxford: Butterworth Heinemann, 2015. – 362 p.
10. Gooch J.W. Encyclopedic Dictionary of Polymers: Volume 2. – New York: Springer Wien, 2017. – 1237 p.
11. Kurenkov V.F. Acrylamide polymers // Handbook of engineering polymeric materials, 1997. P. 61-72.
12. Belyaev P.S. Solving the problem of recycling polymer wastes by using them in the process of modifying road binders // Construction materials, 2013. No. 10. P.38-41.
13. Zhu J., Birgisson B., Kringos N. Polymer modification of bitumen: achievements and problems // Euro. Polym. J., 2014. No. 54. P. 18-38.
14. Wolfson S.I., Khakimullin Yu.N., Zakirova L.Yu., Khussainov A.D., Wolfson I.S., Makarov D.B., Khozin V.G. Modification of bitumen as a way to improve their performance properties // Bulletin of Technological University. Chemical Technology, 2016. Vol. 19, No. 17. P. 29-33.
15. Ouyang Q., Cheng L., Wang H., Li K. Mechanism and kinetics of the stabilization reactions of itaconic acid-modified polyacrylonitrile // Polymer Degradation & Stability, 2016. Vol. 93 (8). P. 1415-1421.
16. Panfilov D.A., Dvorko I.M. The Effect of Oligoethers Based on Secondary Polyethylene Terephthalate and Oligopropylene Diol on the Properties of Novolac Compounds // Polymer Science, Series D, 2018. Vol. 11, No. 2. P. 169-173.
17. Alekseeva K.D. Determination of the structure of the substance synthesized based on polycarbonate and aliphatic polyamine // Chemistry of Organoelement Compounds and Polymers 2019, 2019. P. 269.
18. Maharaj R., Maharaj C., Mahase M. The performance and durability of polyethylene terephthalate and crumb rubber-modified road pavement surfaces // Progress in Rubber, Plastics and Recycling Technology, 2019. Vol. 35 (1). P. 3-22.

19. Syrmanova K., Kaldybekova Zh., Agabekova A., Baizhanova Sh., Tuleuov R., Khaldun Al Azzam, El-Sayed N., Bounoua N. Modification of Petroleum Bitumen with Secondary Polyethylene in the Presence of Vermiculite Indones // J. Chem., 2024. Vol. 24 (2). P. 530-542.
20. Belova N.A., Strakhova N.A., Tsamaeva P.S. Improving the production technology of bitumen for road surfaces // Bulletin of Dagestan State Technical University. Technical science, 2016. Vol. 42, No. 3. P. 144-154.
21. Кольшева, Е.О. Получение полимерно-битумных вяжущих [Текст] / Е.О. Кольшева, Н.Г. Евдокимова, Г.М. Гайнуллина // Сборник «Наука. Технология. Производство – 2014»: материалы Международной научно-технической конференции. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2014. – С. 8-10.
22. Lima M.S.S., Najibabaei, M., Thives, L. P., Haritonovs, V., Buttgerreit, A., Queiroz, C., & Gschösser, F. Environmental potentials of asphalt mixtures fabricated with red mud and fly ash // Road Materials and Pavement Design, 2021. Vol. 22. P. S690-S701.
23. Сырманова, К.К. Влияние модифицирующих добавок на свойства жидких композиций на основе отечественного нефтяного битума [Текст] / К.К. Сырманова, Н.С. Жумабай, К.А. Ахметова // Труды международной научно-практической конференции «Ауэзовские чтения – 19: 30 лет независимости Казахстана». – Шымкент: ЮКУ им. М. Ауэзова, 2021. – Т. 9. – С. 355-359.
24. Бонченко, Г.А. Асфальтобетон. Сдвигоустойчивость и технология модифицирования полимером [Текст] / Г.А. Бонченко. – М.: Машиностроение, 1994. – 176 с.
25. Промышленные технологии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tehnology-pro.ru/fiziko-mekhanicheskie-svoystva-polietilena.html>.
26. Внутреннее потребление и переработка полимеров: перспективы развития нефтегазохимической отрасли РК [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://informburo.kz/stati/vnutrennee-potreblenie-i-pererabotka-polimerov-ucastniki-rynka-obsudili-perspektivy-razvitiya-neftegazoximiceskoi-otrasli-rk>
27. Сырманова, К.К. Анализ использования полимерно-битумных вяжущих в Казахстане и за рубежом [Текст] / К.К. Сырманова, Ж.К. Алипбекова, Е.Т. Боташев // Труды международной научно-практической конференции «Ауэзовские чтения-17: новые импульсы науки и духовности в мировом пространстве». – Шымкент, 2019. – С. 280-283.
28. Битумный рынок – рост, тенденции, влияние covid-19 и прогнозы (2023–2028 ГГ.) Мировой рынок битума. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://newchemistry.ru/printletter.php?n_id=6963.
29. Почему мы не делаем дороги из пластика? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=vnunvA4d6nM>.
30. Гохман, Л.М. Битумы, полимерно-битумные вяжущие, асфальтобетон, полимерасфальтобетон [Текст]: учебно-методическое пособие. – М.: ЗАО «ЭКОН-ИНФОРМ», 2008. – 117 с.
31. Полимерно-модифицированные битумы. Технические условия [Текст]. – [?], 2017.
32. Caputo P, Abe AA, Loise V, Porto M, Calandra P, Angelico R, Oliviero Rossi C The Role of Additives in Warm Mix Asphalt Technology: An Insight into Their Mechanisms of Improving an Emerging Technology // Nanomaterials (Basel), 2020. Vol. 10 (6). P. 1202.
33. Lima M.S.S., Thives L.P., Haritonovs V., Gschösser F. The Influence of Alternative Fillers on the Adhesive Properties of Mastics Fabricated with Red Mud // Materials (Basel), 2020. Vol. 13(2). P. 484.
34. Галдина, В.Д. Улучшение свойств дорожных битумов добавками полимерных модификаторов [Текст] / В.Д. Галдина, Н.А. Гриневич, Ю.В. Соколов // Тез. докл. II Международной науч.-техн. конференции «Автомобильные дороги Сибири». – Омск: Изд-во СибАДИ, 2016. – С. 129-131.
35. Гохман, Л.М. Совершенствование нормативных требований к дорожным органическим вяжущим материалам в странах СНГ [Текст] / Л.М. Гохман // Сборник статей и докладов ежегодной научной сессии «Ассоциация исследователей асфальтобетона». – М.: МАДИ (ГТУ), 2018. – С. 12-21.

36. Cheremisinoff N. Condensed Enciclopedia of Polymer Engineering Terms. – Oxford: Butterworth Heinemann, 2015. – 362 p.
37. Kurenkov V.E Handbook of Engineering Polymeric Materials. Ch. 3. Morganville. – N.J.: Marcel Dekker, 2017. – 61-72 p.
38. Mohan J., Kavitha R. Efficacy and Safety Evaluation of Bresol Tablet in Allergic Rhinitis – A Double Blind Placebo Controlled Clinical Study // International Journal of Science and Research (IJSR), 2013. Vol. 4, Issue 6. P. 462-468.
39. Белова, Н.А. Совершенствование технологии производства битума для дорожного покрытия [Текст] / Н.А. Белова, Н.А. Страхова, П.С. Цамаева // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2016. – Том 42. – №3. – С. 144-154.
40. Дошлов, О.И. Полимерно-битумное вяжущее - высокотехнологическая основа для асфальта нового поколения [Текст] / О.И. Дошлов, Е.Г. Спешилов // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2013. – №6. – С. 140-144.

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки МНВО РК по программе BR21882255 «Разработка новых способов переработки тяжелых нефтей, нефтяных остатков, нефтебитуминозных пород, окисления гудрона с добавкой модификаторов для расширения производства битумов» и AP19679034 «Разработка технологии получения битумных материалов для дорожной отрасли с утилизацией полимерных отходов в технологическом процессе».

Материал поступил в редакцию 18.07.24.

**А.Т. Кабылбекова¹, Е. Тілеуберді^{2,3}, Х.И. Акбаров⁴,
К.К. Сырманова⁵, А.С. Унгарбаева⁶, Е.К. Онгарбаев^{2,6}, Е.И. Иманбаев²**

¹М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті, Тараз қ., Қазақстан

²Жану проблемалары институты, Алматы қ., Қазақстан

³Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті,
Алматы қ., Қазақстан

⁴Ұлықбек мырза атындағы Өзбекстан ұлттық университеті,
Ташкент қ., Өзбекстан Республикасы

⁵М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент қ., Қазақстан

⁶әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

БИТУМ КОМПОЗИЦИЯЛАРЫНДА ПОЛИМЕРЛІ МОДИФИКАТОРЛАРДЫ ҚОЛДАНУ ТИІМДІЛІГІ

Аңдатпа. Полимерлер негізінде әртүрлі техникалық құнды материалдарды алу мүмкіндігі әлемде полимерлердің нақты тұтынылуының артуына әкелді және бұл көрсеткіш өсуде. Шикізат, отын-энергетика және басқа да материалдық ресурстарды үнемдеу және ұтымды пайдалану қайталама материалдық ресурстарды пайдалану тиімділігін арттыруды көздейді. Қазіргі уақытта полимерлі материалдардың қалдықтарын қайта өңдеу проблемасы қоршаған ортаны қорғау тұрғысынан ғана емес, сонымен қатар полимерлі шикізат тапшылығы жағдайында пластикалық қалдықтардың қуатты шикізат пен энергетикалық ресурсқа айналуымен байланысты екендігі анықталды.

Қайталама полимерлі шикізаттың әртүрлі түрлерін қайта өңдеу жеткіліксіз дамығаны анықталды және оны пайдалану деңгейін арттырудың жаңа технологияларын енгізу қажет. Осы мақсаттарға қол жеткізу үшін, сондай-ақ миллиондаған тонна полимерлі қалдықтардың қоршаған ортаның ластануын

болдырмау үшін осы мәселенің негізгі мәселелерін шешу қажет: өндіріс қалдықтары мен тұтыну қалдықтарын жинауды ұйымдастыру; полимерлі қалдықтарды қайта өңдеуге немесе кәдеге жаратуға жататын санаттарға бөлу; екінші полимерлі шикізаттың сапасын жақсарту үшін қажетті модификация әдістерін таңдау, әр түрлі полимерлі қоспалармен модификациялау шикізат пен битумдардың қасиеттерін жақсартылған сапалы тауарлық битумдарды алу арқылы реттеуге мүмкіндік береді.

Мақалада беріктік индикаторларын, суға төзімділікті арттыратын, жұмыс температурасының бүкіл интервалында материалдың деформациялық қабілетін жақсартатын битум модификаторларының полимерлеріне шолу қарастырылады.

Мұнай битумдарының физика-механикалық қасиеттерін жақсарту мүмкіндігі көрсетілген, бұл икемділігі, жылуға төзімділігі және төмен температуралық қасиеттері жақсартылған полимербитум тұтқырларын алуға, сондай-ақ жол битумдарын өндіру үшін ресурстарды кеңейтуге мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: полимер, модификатор, полимер қалдықтары, битум, жол саласы, сапа.

**A.T. Kabyzbekova¹, E. Tileuberdi^{2,3}, H.I. Akbarov⁴,
K.K. Syrmanova⁵, A.S. Ungarbayeva⁶, E.K. Ongarbayev^{2,6}, E.I. Imanbayev²**

¹Taraz Regional University named after M.Kh. Dulaty, Taraz, Kazakhstan

²Institute of Combustion Problems, Almaty, Kazakhstan

³Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

⁴National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek,
Tashkent, Uzbekistan

⁵M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

⁶Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

THE EFFECTIVENESS OF THE USE OF POLYMER MODIFIERS IN BITUMEN COMPOSITIONS

Abstract. The possibility of obtaining a variety of technically valuable polymer-based materials has led to an increase in the specific consumption of polymers in the world and this indicator continues to increase. Saving and rational use of raw materials, fuel and energy and other material resources provides for an increase in the efficiency of the use of secondary material resources. It has been established that at present the problem of recycling waste polymer materials is gaining urgent importance not only from the standpoint of environmental protection, but also due to the fact that in conditions of shortage of polymer raw materials, plastic waste becomes a powerful raw material and energy resource.

It has been revealed that the processing of various types of secondary polymer raw materials is not sufficiently developed and it is necessary to introduce new technologies to increase the level of its use. To achieve these goals, as well as to prevent environmental pollution by millions of tons of polymer waste, it is necessary to solve the main issues of this problem: organization of collection of industrial and consumer waste; division of polymer waste into categories to be recycled or disposed of; selection of the necessary modification methods to improve the quality of secondary polymer raw materials. Modification with various polymer additives will allow you to adjust the properties of raw materials and bitumen to obtain commercial bitumen of improved quality.

The article provides an overview of bitumen modifier polymers that increase strength, water resistance, and improve the deformability of the material over the entire range of operating temperatures.

The possibility of improving the physical and mechanical properties of petroleum bitumen is shown, which will allow obtaining polymer bitumen binders with improved

ductility, heat resistance and low-temperature properties, as well as expand resources for the production of road bitumen.

Keywords: polymer, modifier, polymer waste, bitumen, road industry, quality.

References

1. Mukayev, I.S. Istoricheskiye aspekty ispol'zovaniya neftyanykh bitumov v proizvodstve asfal'tobetonnykh smesey: Na primere dorozhno-stroitel'nykh predpriyatiy g. Ufy [Historical aspects of the use of petroleum bitumen in the production of asphalt concrete mixtures: On the example of road construction enterprises of the city of Ufa]: diss. ... Cand. of Engineering Sciences: 07.00.10. – Ufa, 2020. – 24 p., [in Russian].
2. Gokhman, L.M. Sovershenstvovaniye normativnykh trebovaniy k dorozhnym organicheskim vyazhushchim materialam v stranakh SNG [Improving regulatory requirements for road organic binders in the CIS countries] // Sbornik statey i dokladov yezhegodnoy nauchnoy sessii "Assotsiatsiya issledovateley asfal'tobetona" [Collection of articles and reports of the annual scientific session "Association of Asphalt Concrete Researchers"]. – M.: MADI (STU), 2018. – P. 12-21, [in Russian].
3. Syrmanova, K.K., Rivkina T.V. Tovarnyye nefteprodukty [Commercial oil products]: textbook. – Shymkent: Publishing House "Alem", 2016. – 191 p., [in Russian].
4. Yevdokimova, N.G. Razrabotka nauchno-tekhnologicheskikh osnov proizvodstva sovremennykh bitumnykh materialov kak neftyanykh dispersnykh sitsem [Development of scientific and technological foundations for the production of modern bitumen materials as oil dispersed systems]: dis. ... Dr. of Engineering Sciences: [?]. – Moscow. 2015. – 417 p., [in Russian].
5. Akhmadova, KH.KH., Ibragimov, A.A., Khadisova, ZH.T., Idrisova, E.U. Modifitsirovaniye bitumov razlichnymi dobavkami – kak sposob uluchsheniya kachestva dorozhnykh bitumov [Modification of bitumen with various additives – as a way to improve the quality of road bitumen] // Aktual'nyye teorii, kontseptsii, prikladnoy kharakter sovremennykh nauchnykh issledovaniy: sbornik nauchnykh statey po itogam Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Actual theories, concepts, applied nature of modern scientific research: collection of scientific articles based on the results of the International scientific and practical conference]. – St. Petersburg.: Publishing house St. Petersburg State University of Economics, 2019. – P. 104-109, [in Russian].
6. Knyazev YU.V., Budantsev V.V., Frolov V.A., Merkulov S.A. Ispol'zovaniye polimernykh materialov dlya modifikatsii dorozhnogo vyazhushchego [Use of polymeric materials for modification of road binder] // Molodoy uchenyy [Young scientist], 2015. No. 12 (92). P. 198-200, [in Russian].
7. Mullakhmetov N.R., Kemalov A.F., Kemalov R.A., Kostromin R.N. Modifikatsiya dorozhnykh bitumov kauchukom [Modification of road bitumen with rubber] // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta [Bulletin of Kazan Technological University], 2010. No. 7. P. 467-468, [in Russian].
8. Luksha O.V., Opanasenko O.N., Krut'ko N.P., Loboda YU.V. Modifitsirovaniye okislennogo bituma stirol-budadiyen-stirol'nymi sopolimerami razlichnogo stroyeniya [Modification of oxidized bitumen with styrene-butadiene-styrene copolymers of different structures] // Zhurnal prikladnoy khimii [Journal of Applied Chemistry], 2006. Vol. 79. No. 6. P. 1030-1034, [in Russian].
9. Cheremisinoff N. Condensed Enciclopedia of Polymer Engineering Terms. – Oxford: Butterworth Heinemann, 2015. – 362 p.
10. Gooch J.W. Encyclopedic Dictionary of Polymers: Volume 2. – New York: Springer Wien, 2017. – 1237 p.
11. Kurenkov V.F. Acrylamide polymers // Handbook of engineering polymeric materials, 1997. P. 61-72.
12. Belyaev P.S. Solving the problem of recycling polymer wastes by using them in the process of modifying road binders // Construction materials, 2013. No. 10. P.38-41.

13. Zhu J., Birgisson B., Kringos N. Polymer modification of bitumen: achievements and problems // Euro. Polym. J., 2014. No. 54. P. 18-38.
14. Wolfson S.I., Khakimullin Yu.N., Zakirova L.Yu., Khussainov A.D., Wolfson I.S., Makarov D.B., Khozin V.G. Modification of bitumen as a way to improve their performance properties // Bulletin of Technological University. Chemical Technology, 2016. Vol. 19, No. 17. P. 29-33.
15. Ouyang Q., Sheng L., Wang H., Li K. Mechanism and kinetics of the stabilization reactions of itaconic acid-modified polyacrylonitrile // Polymer Degradation & Stability, 2016. Vol. 93 (8). P. 1415-1421.
16. Panfilov D.A., Dvorko I.M. The Effect of Oligoethers Based on Secondary Polyethylene Terephthalate and Oligopropylene Diol on the Properties of Novolac Compounds // Polymer Science, Series D, 2018. Vol. 11, No. 2. P. 169-173.
17. Alekseeva K.D. Determination of the structure of the substance synthesized based on polycarbonate and aliphatic polyamine // Chemistry of Organoelement Compounds and Polymers 2019, 2019. P. 269.
18. Maharaj R., Maharaj C., Mahase M. The performance and durability of polyethylene terephthalate and crumb rubber-modified road pavement surfaces // Progress in Rubber, Plastics and Recycling Technology, 2019. Vol. 35 (1). P. 3-22.
19. Syrmanova K., Kaldybekova Zh., Agabekova A., Baizhanova Sh., Tuleuov R., Khaldun Al Azzam, El-Sayed N., Bounoua N. Modification of Petroleum Bitumen with Secondary Polyethylene in the Presence of Vermiculite Indonesia // J. Chem., 2024. Vol. 24 (2). P. 530-542.
20. Belova N.A., Strakhova N.A., Tsamaeva P.S. Improving the production technology of bitumen for road surfaces // Bulletin of Dagestan State Technical University. Technical science, 2016. Vol. 42, No. 3. P. 144-154.
21. Kolysheva Ye.O., Yevdokimova N.G., Gaynullina G.M. Polucheniye polimerno-bitumnykh vyazhushchikh [Preparation of polymer-bitumen binders] // Sbornik «Nauka. Tekhnologiya. Proizvodstvo – 2014»: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii [Collection “Science. Technology. Production – 2014”: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference]. – Ufa: Publishing House of Ufa State Petroleum Technical University, 2014. – P. 8-10, [in Russian].
22. Lima M.S.S., Hajibabaei, M., Thives, L. P., Haritonovs, V., Buttgerit, A., Queiroz, C., & Gschösser, F. Environmental potentials of asphalt mixtures fabricated with red mud and fly ash // Road Materials and Pavement Design, 2021. Vol. 22. P. S690-S701.
23. Syrmanova, K.K., Zhumabay, N.S., Akhmetova, K.A. Vliyaniye modifikatsionnykh dobavok na svoystva zhidkikh kompozitsiy na osnove otechestvennogo neftyanogo bituma [Influence of modifying additives on the properties of liquid compositions based on domestic petroleum bitumen] // Trudy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii “Auezovskiy chteniya – 19: 30 let nezavisimosti Kazakhstana” [Proceedings of the international scientific and practical conference “Auezov Readings - 19: 30 years of independence of Kazakhstan”]. – Shymkent: M.Auezov South Kazakhstan University, 2021. – Vol. 9. – P. 355-359, [in Russian].
24. Bonchenko, G.A. Asfal'tobetony. Sdvigoustoychivost' i tekhnologiya modifikatsionnykh polimerom [Asphalt concrete. Shear resistance and polymer modification technology]. – Moscow: Mechanical Engineering, 1994. – 176 p., [in Russian].
25. Industrial technologies [Electronic resource]. – Access mode: <https://tehnology-pro.ru/fiziko-mekhanicheskie-svoystva-polietilena.html>.
26. Domestic consumption and processing of polymers: prospects for the development of the petrochemical industry of the Republic of Kazakhstan [Electronic resource]. – Access mode: <https://informburo.kz/stati/vnutrennee-potreblenie-i-pererabotkapolimerov-uchastniki-rynka-obsudili-perspektivy-razvitiya-neftegazokhimicheskoi-otrasli-rk>
27. Syrmanova, K.K., Alipbekova, Zh.K., Botashev, Ye.T. Analiz ispol'zovaniya polimerno-bitumnykh vyazhushchikh v Kazakhstane i za rubezhom [Analysis of the use of polymer-bitumen binders in Kazakhstan and abroad] // Trudy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii “Auezovskiy chteniya-17: novyye impul'sy

- nauki i dukhovnosti v mirovom prostranstve" [Proceedings of the international scientific and practical conference "Auezov Readings-17: New Impulse of Science and Spirituality in the World Space"]. – Shymkent, 2019. – P. 280-283, [in Russian].
28. Bitumen market – growth, trends, impact of covid-19 and forecasts (2023–2028) World bitumen market. [Electronic resource]. – Access mode: http://newchemistry.ru/printletter.php?n_id=6963.
 29. Why don't we make roads out of plastic? [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.youtube.com/watch?v=vnunvA4d6nM>.
 30. Gokhman, L.M. Bitумы, полимерно-битумные вязущие, асфальтобетон, полимерасфальтобетон [Bitumens, polymer-bitumen binders, asphalt concrete, polymer asphalt concrete]: tutorial. – Moscow: ZAO «EKON-INFORM», 2008. – 117 p., [in Russian].
 31. Полимерно-модифицированные битумы. Технические условия [Polymer-modified bitumens. Technical conditions]. – [?], 2017. [in Russian].
 32. Caputo P, Abe AA, Loise V, Porto M, Calandra P, Angelico R, Oliviero Rossi C The Role of Additives in Warm Mix Asphalt Technology: An Insight into Their Mechanisms of Improving an Emerging Technology // *Nanomaterials (Basel)*, 2020. Vol. 10 (6). P. 1202.
 33. Lima M.S.S., Thives L.P., Haritonovs V., Gschösser F. The Influence of Alternative Fillers on the Adhesive Properties of Mastics Fabricated with Red Mud // *Materials (Basel)*, 2020. Vol. 13(2). P. 484.
 34. Galdina, V.D., Grinevich, N.A., Sokolov, YU.V. Uluchsheniye svoystv dorozhnykh bitumov dobavkami polimernykh modifikatorov [Improving the properties of road bitumens by adding polymer modifiers] // *Tez. dokl. II Mezhdunarodnoy nauch.-tekhn. konferentsii "Avtomobil'nyye dorogi Sibiri"* [Abstract of the report of the II International scientific and technical conference "Motorways of Siberia"]. – Omsk: SibADI Publishing House, 2016. – P. 129-131, [in Russian].
 35. Gokhman, L.M. Sovershenstvovaniye normativnykh trebovaniy k dorozhnym organicheskim vyazhushchim materialam v stranakh SNG [Improvement of regulatory requirements for organic road binders in the CIS countries] // *Sbornik statey i dokladov yezhegodnoy nauchnoy sessii "Assotsiatsiya issledovateley asfal'tobetona"* [Collection of articles and reports of the annual scientific session "Association of Asphalt Concrete Researchers"]. – Moscow: MADI (STU), 2018. – P. 12-21, [in Russian].
 36. Cheremisinoff N. *Condensed Encyclopedia of Polymer Engineering Terms*. – Oxford: Butterworth Heinemann, 2015. – 362 p.
 37. Kurenkov V.E *Handbook of Engineering Polymeric Materials*. Ch. 3. Morganville. – N.J.: Marcel Dekker, 2017. – 61-72 p.
 38. Mohan J., Kavitha R. Efficacy and Safety Evaluation of Bresol Tablet in Allergic Rhinitis – A Double Blind Placebo Controlled Clinical Study // *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 2013. Vol. 4, Issue 6. P. 462-468.
 39. Belova N.A., Strakhova N.A., Tsamayeva P.S. Sovershenstvovaniye tekhnologii proizvodstva bituma dlya dorozhnogo pokrytiya [Improving the technology of bitumen production for road surfaces] // *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki* [Bulletin of the Dagestan State Technical University. Technical sciences], 2016. Vol. 42. No.3. P. 144-154, [in Russian].
 40. Doshlov O.I., Speshilov Ye.G. Polimerno-bitumnoye vyazhushcheye - vysokotekhnologicheskaya osnova dlya asfal'ta novogo pokoleniya [Polymer-bitumen binder - a high-tech base for new generation asphalt] // *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Irkutsk State Technical University], 2013. No. 6. P. 140-144, [in Russian].