

Утилизация пластиковых отходов экологически безопасным способом – применение их в дорожном строительстве

Е.И. Иманбаев^{1*}, Е.К. Онгарбаев^{1,2}, А.Б. Жамболова¹, Е. Канжаркан¹, А.Р. Кенжегалиева¹,
Ж.К. Мылтыкбаева², У.К. Енсегенова², А.Ч. Бусурманова³, А.Ш. Аккенжеева³

¹Институт проблем горения, ул. Богенбай батыра, 172, Алматы, Казахстан

²Казахский национальный университет имени аль-Фараби, пр. Аль-Фараби, 71, Алматы, Казахстан

³Университет Есенова, 32-й микрорайон, 1, Актау, Казахстан

Информация о статье

Получено
05.08.2025

Получено в исправленном
виде
18.09.2025

Принято
26.09.2025

Ключевые слова:

дорожные битумы;
модификация битумов;
пластиковые отходы;
модификаторы битумов;
полимер-битумные
вяжущие

АННОТАЦИЯ

Полное соблюдение технологии укладки дорожных покрытий не всегда обеспечивает их высокую надежность. Низкая долговечность автомобильных дорог обусловлена невысоким качеством используемого битума. В связи с этим переход на использование полимер-битумных вяжущих, обладающих улучшенными эксплуатационными характеристиками, является актуальной тенденцией развития дорожной отрасли. Наиболее часто для модификации битумов используют термоэластопласты типа стирол-бутадиен-стирол, характеризующиеся сравнительно высокой стоимостью. В данной работе экспериментально показано влияние совместного использования пластиковых отходов и готовых полимерных модификаторов на реологические свойства и химическую связь битумного вяжущего с целью снижения себестоимости полимер-битумных вяжущих. В исследовании использовались пластиковые отходы (вторичные полиэтилены различного давления (LDPE и HDPE)) в количестве от 1 до 2% совместно с готовыми полимерными модификаторами (СБС и Elvaloy). Физико-механические свойства полученных битумных вяжущих определялись стандартными методиками по СТ РК. Результаты исследования показали, что с увеличением пластикового отхода повышается интервал пластичности битума в присутствии модификаторов. Это свидетельствует о положительном влиянии применяемых полимеров на улучшение физико-механических свойств модифицированного битума. Получены новые данные о влиянии пластиковых отходов на качество полимерно-битумного вяжущего. Установлено, что выбранные пластиковые отходы совместимы с готовыми полимерными модификаторами.

1. Введение

Согласно данным рейтинга Всемирного экономического форума за 2018 год, по качеству автомобильных дорог Казахстан занимает 106-е место из 140 стран [1]. В то же время резко увеличение интенсивности движения автомобильного и грузового транспорта ужесточает требования к качеству дорожных материалов. Проблему можно решить двумя способами: путем синтеза новых полимеров или модификации уже существующих полимеров. Ресурсы синтеза новых полимеров безграничны, но экономическая целесообразность затрудняет их разработку. Для промышленного использования полимерные модифика-

торы должны быть доступными и недорогими. В настоящее время в Казахстане для модификации битумов используются импортные дорогостоящие специальные полимеры (не более 20%), такие как Elvaloy, стирол-бутадиен-стирол (СБС). В этой связи применение модифицированных битумов должно сопровождаться технико-экономическим обоснованием, поскольку их стоимость значительно превышает цену традиционного битума [2]. Изменение рецептуры полимер-битумных вяжущих (ПБВ), направленное на повышение прочности и вязкости при одновременном сохранении необходимого уровня эластичности и низкотемпературной трещиностойкости, позволяет увеличить межремонтный срок службы асфаль-

*Corresponding author: Y.I. Imanbayev; E-mail address: erzhan.imanbayev@gmail.com

тобетонных покрытий до 15 лет. Для сравнения, срок службы покрытий, выполненных с применением немодифицированного битума, в среднем не превышает 3 лет [3].

Свойства битума изменяются в зависимости от скорости движения транспортного средства и температуры окружающей среды. При высоких скоростях и низких температурах битум проявляет свойства упругого твердого тела, что способствует образованию термических трещин. С другой стороны, при низких скоростях и высоких температурах битум ведет себя как вязкая жидкость и в этом случае наиболее распространенным типом износа является колеобразование. При нормальных условиях окружающей среды и средних значениях скорости битум проявляет вязкоупругие свойства и в этом случае наиболее распространенным типом износа являются усталостные трещины. Для минимизации последствий увеличения транспортных нагрузок и неблагоприятных погодных условий требуется модифицирование битума [4]. Согласно литературным данным, для модификации битумов широко применяются добавки на основе полимеров [5-7]. В настоящее время рассматривается возможность использования отходов термопластиков для модификации битумов. Переработка пластика не только позволяет эффективно использовать все более сокращающиеся природные ресурсы, но и снижает количество отходов, которые необходимо захоронить под землей, тем самым минимизируя ущерб к окружающей среде [8-10].

В работе [11] исследована реология модифицированного битума отходами пластика. Установлено, что физико-механические свойства битума улучшаются, при этом оптимальное содержание полимерного отхода составляет 0,5% на основе PG (класс производительности) 70. Метод PG (Performance Grade) используют для выявления долговечности вяжущих материалов с особыми эксплуатационными характеристиками.

Была проведена модификация битума различными отходами пластика, а именно полиэтиленом (ПНД и ПВД), этиленвинилацетатом, СБС, акрилонитрил-бутадиен-стиролом, резиновой крошкой, и исследована стабильность хранения при использовании. Экспериментальные испытания показали, что СБС и этиленвинилацетат с ПНД обеспечивают хорошие характеристики по стабильности хранения [12].

В исследовательской работе [13] изучены влияние добавок полиэтилена и ПВХ для модификации битумов. Установлено, что температура

размягчения увеличивается по мере повышения содержания полимеров, оптимальное содержание полимерных отходов для дорожного покрытия составляет 10% полиэтилена и 7,5% ПВХ.

В работе [14] исследовано влияние трех типов ПВХ отходов (оконных профилей, жалюзи и кабель) на эксплуатационные характеристики асфальтобетонной смеси. Выявлено, что при повышении количества добавки температура размягчения и вязкость увеличиваются, а значения пенетрации уменьшаются.

Добавление 3,5% функционализированного полиэтилена приводит к увеличению класса производительности на две степени PG (76-16), что показывает высокую эффективность по сравнению с 4% СБС [15]. Также увеличивается вязкость на 200% при добавлении 4% СБС, в то время как при добавлении 3,5% ПЭ существенного влияния на вязкость не наблюдается. Кроме того, результаты показали, что значения колейности ($G^*/\sin \delta$) возросли на 1,6 и 2,96% при модификации битума 2 и 4% СБС, соответственно, в то время как при использовании 2% и 3,5% ПЭ значения данного показателя увеличились на 1,4 и 3%, соответственно.

Использование ПВХ в качестве добавки для ПБВ увеличивает температуру размягчения и снижает значение пенетрации [16]. Увеличение содержания ПВХ в составе битумов приводит к снижению пенетрации и возрастанию параметра колейности ($G^*/\sin \delta$), что подтверждается результатами, полученными с использованием реометра динамического сдвига (DSR) и ротационного вискозиметра (RV).

В настоящее время полимерные модификаторы классифицируются на три группы и зависят от их химической структуры, включая пластимеры, эластомеры и реактивные полимеры [17]. Реактивные и пластимерные полимеры имеют тенденцию повышать жесткость и устойчивость к деформации из-за транспортных нагрузок [18], тогда как эластомерные полимеры улучшают эластичные свойства (устойчивость к усталости) вяжущих. Среди всех трех категорий полимерных модификаторов пластимеры отличаются меньшей стоимостью и обеспечивают улучшенную жесткость связующего при высокой температуре, что способствует его устойчивости к постоянной деформации [19, 20]. Пластимеры для дорог включают полиэтилен, полипропилен, этилвинилацетат и этиленбутилакрилат. В ряду пластимеров полиэтилен считается одним из наиболее эффективных полимеров для модификации асфальтобетонного связующего. Хорошо известно,

что модифицированное полиэтиленом асфальтобетонное связующее более устойчиво к усталости и образованию колеи по сравнению с обычными асфальтобетонными связующими [21, 22]. Таким образом, использование бытовых полимерных отходов в дорожном строительстве способствует повышению устойчивости асфальтобетонной смеси к колееобразованию и улучшению других важных характеристик битумных композиций.

Цель работы заключается в разработке и совершенствовании технологии модификации дорожных битумов и асфальтобетонов с использованием полимерных отходов для обеспечения высоких эксплуатационных свойств дорожно-строительных композитов.

2. Материалы и методы исследования

Пробы полимерных отходов были отобраны в мусороперерабатывающих цехах по переработке вторичного сырья. Физико-механические характеристики вторичных полиэтиленов различной плотности представлены в табл. 1. Полимерные отходы были получены методом механического рециклинга. При данном способе переработки полимерную массу нагревают до 200 °С, затем выдавливают через отверстия в виде нитей, которые сразу же помещают в воду для охлаждения. Полученные нити измельчают на гранулы среднего размера 2–3 мм.

Для исследований использовался дорожный нефтяной битум марки БНД 70/100, предоставленный Актауским битумным заводом. Модифицирование битумов полимерными отходами проводили следующим образом: битум нагревали в реакторе до 100–110 °С, затем добавляли определенное количество полимерного отхода (от 1 до 2 мас.%) и готовые полимерные модификаторы. Далее температуру полученной смеси поднимали до 185 °С и проводили перемешивание в сдвиговой мешалке в течение 3 ч при скорости 4500 об/мин. Выбор температуры процесса обоснован необходимостью растворения готовых полимеров и протекания реакционной модификации СБС и Elvaloy. Использование сдвиговой мешалки обеспечивало диспергирование и гомогенизацию исходных продуктов за счет высокой скорости перемешивания. После охлаждения образцов определялись их физико-механические параметры по СТ РК. Повторяемость экспериментальных работ и анализов составляла не менее 2 определений, при этом погрешность полученных результатов не превышала 5%.

Применение полимерных отходов в качестве модификатора способствует формированию прочной трехмерной структуры вследствие взаимодействия с молекулами битума. Ожидается, что при введении модифицирующего компонента в битумную матрицу инициируется специальный химический процесс, связанный с трансформацией поверхностной энергии частиц, что, в свою очередь, вызывает структурную упорядоченность и избирательную диффузию отдельных компонентов битума. В этой связи модификация приводит к повышению физико-механической активности вследствие увеличения площади удельной поверхности и количества активных центров.

На рис. 1 приведена схема установки модификации битумов полимерными отходами.

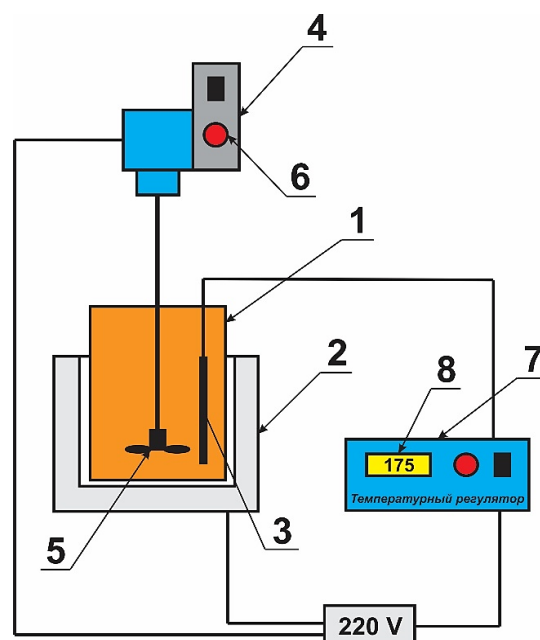


Рис. 1. Схема установки модификации битумов полимерными отходами.

Установка состоит из цилиндрического реактора (1) длиной 20 см и 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). Мешалка состоит из металлического пропеллера (5), регулятора скорости вращения пропеллера (6). Регулировку нагрева осуществляют увеличением напряжения питания печи через температурный регулятор (7), температура процесса представлена на через цифровой дисплей (8).

Таблица 1. Физико-механические показатели исходного и вторичного полиэтилена (высокого (LDPE) и низкого (HDPE) давления)

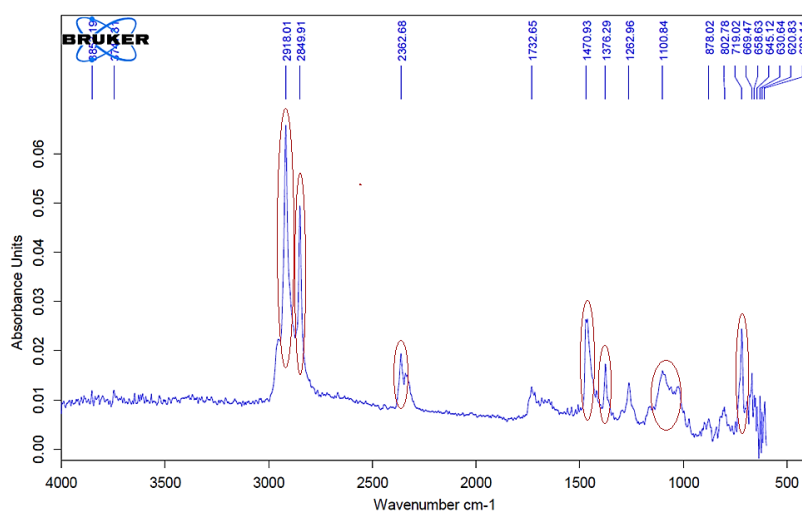
Показатель	Исходные полиэтилены		Вторичные полиэтилены	
	LDPE	HDPE	LDPE	HDPE
Предел прочности при растяжении, МПа	16±0,5	22-45±0,5	8,8-10±0,5	14-29±0,5
Относительное удлинение при разрыве, %	600-800	300-500	170-220	100-250
Температура хрупкости, °С	ниже -70		от -40 до -50	от -30 до -40
Плотность, кг/м ³	920±0,01	941±0,02	910±0,1	938±0,1
Температура плавления, °С	107±2	127±1	103±2	120±2
Степень загрязненности, %	–	–	1,5	1,1
Метод сортировки	–	–	Механический	

Основные физико-механические характеристики полимерно-битумных вяжущих определялись в соответствии требованиям СТ РК: дуктильность или растяжимость – по СТ РК 1374 дуктилометром марки ДАФ-1480 при температуре 25 °С; глубина проникания иглы – по СТ РК 1226 с помощью пенетрометра марки Линтел ПН-20 при температуре 25 °С. Температура размягчения – по СТ РК 1227.

3. Результаты и обсуждение

В табл. 1 представлены физико-механические показатели исходного и вторичного полиэтилена. Из табл. 1 видно, что вторичные полиэтилены теряют основные свойства, но сохраняют достаточно высокие прочностные и деформационные показатели.

На рис. 2 представлен ИК-спектр вторичного полиэтилена высокого давления (LDPE). Сильные высокоинтенсивные полосы поглощения в полученном ИК-спектре при 2918 и 2849 см⁻¹ относятся к метильным и метиленовым группам в виде насыщенных связей С-Н. Слабая полоса поглощения при 2362 см⁻¹ показывает наличие О=С=О группы в составе пластика, что свидетельствует о частичном окислении пластика под воздействием солнечного света. Полосы поглощения при 1470 и 1376 см⁻¹ обусловлены наличием структур С(СН₃)₂ вторичных углеводородов. Ароматические структуры в составе полимерного отхода представлены слабой интенсивностью при 1100 см⁻¹. Полосы поглощения в области 719 см⁻¹ соответствуют скелетным колебаниям связей -С-С-, а полосы в диапазоне 720-730 см⁻¹ указывают на качательные (асимметричные) колебания групп СН₂ в структуре полимера.

**Рис. 2.** ИК-спектр вторичного полиэтилена высокого давления (LDPE).

Стабильность полимер-битумных дисперсных систем зависит от близости свойств полимеров и смолисто-асфальтовых компонентов. В случае неустойчивости системы склонны к фазовому расщеплению. Данный процесс особенно заметен при хранении, транспортировке и нагреве. В качестве модификатора полимер-битумных вяжущих использовали готовые полимеры СБС марки LG 501 (Южная Корея) и Elvaloy (США). Свойства полимера СБС показаны в табл. 2. Плотность СБС составляет 940 кг/м³ и показатель текучести расплава показывает не более 0,5 г/10 мин. Массовое соотношение бутадиена к стиролу составляет 69/31%, что применяется при оценке однородности каучука, поскольку содержание связанного стирола оказывает влияние на его физико-механические характеристики. Полимер СБС характеризуется низкой вязкостью 25% раствора в толуоле при 25 °С (4,5 Па·с) и твердостью по Шору А – 78.

Таблица 2. Свойства полимерного модификатора СБС марки LG 501

Показатель	СБС марки LG 501
Структура	Линейный $(C_4H_6)_n(C_8H_8)_m$
Плотность при 20 °С, кг/м ³	940±1,5
Показатель текучести расплава при 200 °С/5 кг, г/10 мин	< 0,5±0,01
Соотношение бутадиен/стирол, %	< 0,5±0,01
Вязкость раствора, 25% в толуоле при 25 °С, Па·с	4,5±0,1
Условная прочность при растяжении, кгс/см ²	350±0,5
Удлинение при разрыве, %	870±0,5
Твердость, Шор А	78±0,1

Как видно из табл. 3, отсутствие модификатора СБС марки LG 501 приводит к уменьшению глубины проникания иглы, понижению растяжимости и незначительному увеличению температуры размягчения. Добавление модификатора в количестве 1% не приводит к заметному изменению основных свойств. А именно, температура размягчения и дуктильность остаются на одном уровне, но значение пенетрации увеличивается. Дальнейшее увеличение модификатора до 2% приводит к увеличению температуры размягчения, при этом значение пенетрации сначала возрастает, а затем снижается. Данный эффект обусловлен тем, что в системе происходит физическое набухание полимерных отходов и модификатора СБС в битумной матрице, что, в свою очередь, приводит к повышению прочностных характеристик. Полимерно-битумное вяжущее с содержанием 1,5 мас.% полимерного отхода (LDPE) и 1,5 мас.% модификатора СБС по показателям температуры размягчения, пенетрации и растяжимости удовлетворяет требования СТ РК 2534-2014 для марки БМП 50/70.

В табл. 4 представлены физико-механические характеристики полимер-битумных вяжущих с добавкой полиэтилена высокого давления и готового модификатора Elvaloy. При увеличении объема добавляемого полимерного отхода наблюдается понижение значения температуры размягчения. Эти данные подтверждают предположение о постепенном возрастании интервала пластичности битума в присутствии модификатора Elvaloy, что, вероятно, связано с образованием новых структур в составе продуктов. Показатели пенетрации и растяжимости понижаются, но затем увеличиваются. Причина данного эффекта заключается в том, что добавление полимерного отхода в битум приводит к увеличению вязкости композиции,

Таблица 3. Физико-механические характеристики полимер-битумных вяжущих с добавкой полиэтилена высокого давления (LDPE) и модификатора СБС марки LG 501

Наименование показателей	Содержание СБС марки LG 501, мас.%											СТ РК 2534-2014
	0	0	1	1	1	1,5	1,5	1,5	2	2	2	
Содержание LDPE, мас.%	1,5	2	1	1,5	2	1	1,5	2	1	1,5	2	
Температура размягчения, °С	63	66	60	60	58,2	61	62	61	61	61,4	62,5	не ниже 62 °С
Пенетрация при 25 °С	39	43	44	41	51	48	51	45	45	43	46	51-70
Растяжимость при 25 °С, см	27,5	17,5	29,5	16,5	33	29	30	18	25	28	25	не менее 20 см

Таблица 4. Физико-механические характеристики полимер-битумных вяжущих с добавкой полиэтилена высокого давления (LDPE) и модификатора Elvaloy

Наименование показателей	Содержание Elvaloy, мас.%						СТ РК 2534-2014
	0,5	0,5	0,5	1	1	1	
Содержание LDPE, мас.%	1	1,5	2	1	1,5	2	
Температура размягчения, °C	71,8	65	66	64	65	65,3	не ниже 65 °C
Пенетрация при 25 °C	37	35	31	36	38	36	35-50
Растяжимость при 25 °C, см	15,5	22	17	23	26	22	не менее 15 см

что, в свою очередь, снижает показатель пене-трации. Полимерные отходы могут выполнять роль наполнителя и снижать поверхностную силу битумного вяжущего, что приводит к уменьше-нию растяжимости получаемого продукта. По-лимерно-битумное вяжущее с содержанием до 2 мас.% LDPE и 0,5-1 мас.% модификатора Elvaloy по всем параметрам удовлетворяет требованиям СТ РК 2534-2014 для марки БМП 35/50.

Физико-механические характеристики поли-мер-битумных вяжущих, полученных с исполь-зованием отходов полиэтилена низкого давле-ния (HDPE) и модификатора типа СБС марки LG 501, приведены в табл. 5. Как видно из табл. 5, отсутствие добавки модификатора СБС приво-дит к уменьшению глубины проникания иглы, понижению растяжимости и увеличению темпе-ратуры размягчения. Добавление модификатора в количестве 1% приводит к уменьшению значе-ний пенетрации и растяжимости, но температура размягчения остается примерно на одном уровне. Дальнейшее увеличение модификатора до 1,5% приводит к возрастанию температуры размягче-

ния, при этом значения пенетрации и растяжи-мости сначала повышаются, но затем снижаются. Такой эффект обусловлен тем, что наличие мо-дификатора способствует равномерному распре-делению полимерного отхода в битумной среде, что приводит к увеличению прочности вяжущего материала. Полученное полимер-битумное вяжу-щее с содержанием 1 мас.% полимерного отхода (HDPE) и 1,5 мас.% модификатора СБС по всем па-раметрам удовлетворяет требования СТ РК 2534-2014 для марки БМП 35/50.

Таким образом, наиболее оптимальная рецеп-тура приготовления полимер-битумных вяжущих с добавлением пластиковых отходов включает до 2 мас.% отхода, от 0,5 до 1,5 мас.% готового полимерного модификатора, остальное – би-тумная масса. Одним из ключевых преимуществ применения полимерных отходов является их низкая стоимость, а также способность формиро-вать устойчивую структуру в битумном вяжущем при совместном использовании с модификатора-ми СБС и Elvaloy, что предотвращает расслоение компонентов в битумной композиции. Полимер-

Таблица 5. Физико-механические характеристики полимер-битумных вяжущих с добавкой полиэтилена низ-кого давления (HDPE) и модификатора СБС марки LG 501

Наименование показателей	Содержание СБС марки LG 501, мас.%									СТ РК 2534-2014
	0	0	0	1	1	1	2	2	2	
Содержание HDPE, мас.%	1	1,5	2	1	1,5	2	1	1,5	2	
Температура размягчения, °C	58	61,5	69,1	68,6	69	69,5	65,7	68	75	не ниже 65 °C
Пенетрация при 25 °C	39	34	28	29	29	29	35	31	29	35-50
Растяжимость при 25 °C, см	30	25	10	11,5	11	9,4	16	17	9,1	не менее 15 см

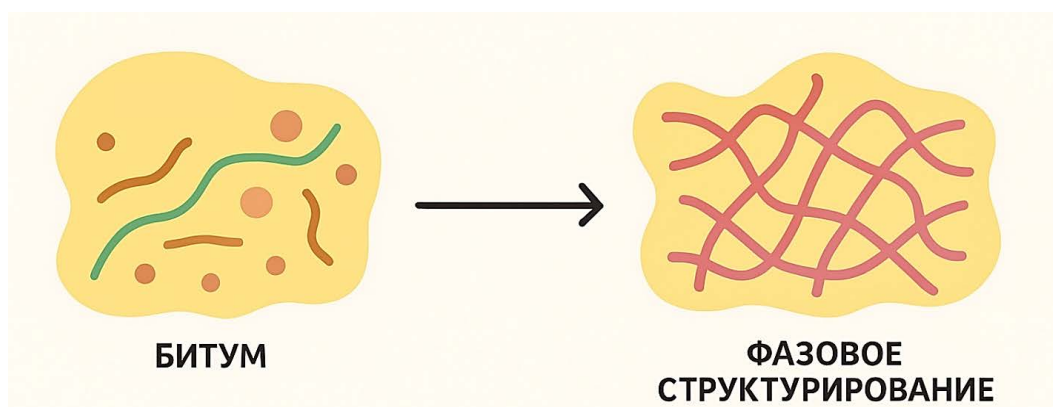


Рис. 3. Действие полимеров и модификаторов на структуру битума.

ные отходы и модификаторы участвуют в фазовом структурировании битумной композиции, повышая эластичность, снижая хрупкость и улучшая адгезионные свойства (рис. 3).

4. Заключение

С целью снижения себестоимости битума для дорожного строительства показана возможность применения пластиковых отходов в качестве сырья для получения модифицированных битумов:

1) для обеспечения требованиям СТ РК 2534-2014 полимер-битумных вяжущих на основе пластикового отхода и готового полимерного модификатора подобраны оптимальные составы;

2) полимерно-битумное вяжущее с содержанием 1,5 мас.% LDPE и 1,5 мас.% модификатора СБС по всем параметрам соответствует требованиям СТ РК 2534-2014 для марки БМП 50/70;

3) полимерно-битумное вяжущее с содержанием до 2 мас.% LDPE и 0,5-1 мас.% модификатора Elvaloy по всем показателям отвечает требованиям СТ РК 2534-2014 для марки БМП 35/50;

4) полимерно-битумное вяжущее с содержанием 1 мас.% HDPE и 1,5 мас.% модификатора СБС по всем параметрам удовлетворяет требованиям СТ РК 2534-2014 для марки БМП 35/50.

Исходя из полученных результатов, оптимальная рецептура для приготовления полимер-битумных вяжущих: до 2 мас.% пластиковых отходов, от 0,5 до 1,5 мас.% готового полимерного модификатора.

Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки МНВО РК по проекту грантового финансирования AP23487238 «Технология получения модифицированных нефтяных битумов

и асфальтобетонов с добавкой бытовых полимерных отходов».

Список литературы (ГОСТ)

- [1]. Отчет о глобальной конкурентоспособности за 2018 год, Всемирный экономический форум, Женева, 2018 год. <https://www.weforum.org/publications/the-global-competitiveness-report-2018/>
- [2]. Nizamuddin S., Jamal M., Gravina R., Giustozzi F. Recycled plastic as bitumen modifier: The role of recycled linear low-density polyethylene in the modification of physical, chemical and rheological properties of bitumen // J. Clean. Prod. – 2020. – Vol. 266. – P. 121988.
- [3]. Akkenzheyeva A., Haritonovs V., Bussurmanova A., Merijs-Meri R., Imanbayev Y., Serikbayeva A., Sydykov S., Ayapbergenov Y., Jankauskas M., Trumpels A., Aimova M., Turkmenbayeva M. The use of rubber-polymer composites in bitumen modification for the disposal of rubber and polymer waste // Polym. – 2024. – Vol. 16. – P. 3177.
- [4]. Aldagari S., Karam J., Kazemi M., Kaloush K., Fini E.H. Comparing the critical aging point of rubber-modified bitumen and plastic-modified bitumen // J. Clean. Prod. – 2024. – Vol. 437. – P. 140540.
- [5]. Riekstins A., Haritonovs V., Straupe V., Izaks R., Merijs-Meri R., Zicans J. Comparative environmental and economic assessment of a road pavement containing multiple sustainable materials and technologies // Constr. Build. Mater. – 2024. – Vol. 432. – P. 136522.
- [6]. Аккенжеева А.Ш., Бусурманова А.Ч. Иманбаев Е.И., Аяпбергенов Е.О., Аимова М.Ж., Туркменбаева М.Б., Енсегенова У.К., Сейдалиев А.А. Модификация битумов отходами пластика и резины // Нефть и газ. – 2023. – № 6(144). – P. 211–221.

- [7]. Cong P., Liu C., Han Z., Zhao Y. A comprehensive review on polyurethane modified asphalt: Mechanism, characterization and prospect // J. Road Eng. – 2023. – Vol. 3. – P. 315–335.
- [8]. Chiang C., Mivehchi M., Wen H. Towards a use of waste polyethylene in asphalt mixture as a compaction aid // J. Clean. Prod. – 2024. – Vol. 440. – P. 140989.
- [9]. Duarte M.G., Faxina A.L. Asphalt concrete mixtures modified with polymeric waste by the wet and dry processes: A literature review // Constr. Build. Mater. – 2021. – Vol. 312. – P. 125408.
- [10]. Behnood A., Gharehveran M.M. Morphology, rheology, and physical properties of polymer-modified asphalt binders // Eur. Polym. J. – 2019. – Vol. 112. – P. 766–791.
- [11]. Kumar P., Garg R. Rheology of waste plastic fibre-modified bitumen // Int. J. Pavement Eng. – 2011. – Vol. 12(5). – P. 449–459.
- [12]. Rahman M.N., Ahmeduzzaman M., Sobhan M.A., Ahmed T.U. Performance evaluation of waste polyethylene and PVC on hot asphalt mixtures // Am. J. Civ. Eng. Archit. – 2013. – Vol. 1(5). – P. 97–102.
- [13]. Kofteci S., Ahmedzade P., Kultayev B. Performance evaluation of bitumen modified by various types of waste plastics // Constr. Build. Mater. – 2014. – Vol. 73. – P. 592–602.
- [14]. Dong F., Zhao W., Zhang Y., Wei J., Fan W., Yu Y., Wang Z. Influence of SBS and asphalt on SBS dispersion and the performance of modified asphalt // Constr. Build. Mater. – 2014. – Vol. 62. – P. 1–7.
- [15]. Abed A.H. Effects of functionalized polyethylene and styrene butadiene styrene polymers on performance grade of local asphalt binder // J. Eng. – 2012. – Vol. 18(6). – P. 735–742.
- [16]. Arabani M., Taleghani M.Y. Rutting behavior of hot mix asphalt modified by polyvinyl chloride powder // Pet. Sci. Technol. – 2017. – Vol. 35(15). – P. 1621–1626.
- [17]. Garcia-Trave G., Tauste R., Moreno-Navarro F., Sol-Sanchez M., Rubio-Gamez M. Use of reclaimed geomembranes for modification of mechanical performance of bituminous binders // J. Mater. Civ. Eng. – 2016. – Vol. 28(7). – P. 04016021.
- [18]. Giustozzi F., Crispino M., Toraldo E., Mariani E. Mix design of polymer-modified and fiber-reinforced warm-mix asphalts with high amount of reclaimed asphalt pavement: achieving sustainable and high-performing pavements // Transp. Res. Rec. – 2015. – Vol. 2523(1). – P. 3–10.
- [19]. Nunez J.Y.M., Domingos M.D.I., Faxina A.L. Susceptibility of low-density polyethylene and polyphosphoric acid-modified asphalt binders to rutting and fatigue cracking // Constr. Build. Mater. – 2014. – Vol. 73. – P. 509–514.
- [20]. Xiao F., Amirkhanian S., Wang H., Hao P. Rheological property investigations for polymer and polyphosphoric acid modified asphalt binders at high temperatures // Constr. Build. Mater. – 2014. – Vol. 64. – P. 316–323.
- [21]. Bonicelli A., Calvi P., Martinez-Arguelles G., Fuentes L., Giustozzi F. Experimental study on the use of rejuvenators and plastomeric polymers for improving durability of high RAP content asphalt mixtures // Constr. Build. Mater. – 2017. – Vol. 155. – P. 37–44.
- [22]. Padhan R.K., Sreeram A. Enhancement of storage stability and rheological properties of polyethylene (PE) modified asphalt using cross linking and reactive polymer based additives // Constr. Build. Mater. – 2018. – Vol. 188. – P. 772–780.

References

- [1]. The Global Competitiveness Report 2018, World Economic Forum, Geneva, 2018. <https://www.weforum.org/publications/the-global-competitiveness-report-2018/>
- [2]. S. Nizamuddin, M. Jamal, R. Gravina, et al. Recycled plastic as bitumen modifier: The role of recycled linear low-density polyethylene in the modification of physical, chemical and rheological properties of bitumen, J. Clean. Prod. 266 (2020) 121988. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121988>.
- [3]. A. Akkenzheeva, V. Haritonovs, A. Bussurmanova, et al. The use of rubber-polymer composites in bitumen modification for the disposal of rubber and polymer waste, Polymers 16 (2024) 3177. <https://doi.org/10.3390/polym16223177>.
- [4]. S. Aldagari, J. Karam, M. Kazemi, et al. Comparing the critical aging point of rubber-modified bitumen and plastic-modified bitumen, J. Clean. Prod. 437 (2024) 140540. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140540>.
- [5]. A. Riekstins, V. Haritonovs, V. Straupe, et al. Comparative environmental and economic assessment of a road pavement containing multiple sustainable materials and technologies, Constr. Build. Mater. 432 (2024) 136522. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.136522>.
- [6]. A.Sh. Akkenzheeva, A.Ch. Busurmanova, E.I. Imanbaev, et al. Modifikaciya bitumov othodami

- plastika i reziny, Neft i gaz 6(144) (2023) 211–221. (In Kazakh).
- [7]. P. Cong, C. Liu, Z. Han, et al. A comprehensive review on polyurethane modified asphalt: Mechanism, characterization and prospect, *J. Road Eng.* 3 (2023) 315–335. <https://doi.org/10.1016/j.jreng.2023.10.001>.
- [8]. C. Chiang, M. Mivehchi, H. Wen. Towards a use of waste polyethylene in asphalt mixture as a compaction aid, *J. Clean. Prod.* 440 (2024) 140989. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140989>.
- [9]. M.G. Duarte, A.L. Faxina. Asphalt concrete mixtures modified with polymeric waste by the wet and dry processes: A literature review, *Constr. Build. Mater.* 312 (2021) 125408. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125408>.
- [10]. A. Behnood, M.M. Gharehveran. Morphology, rheology, and physical properties of polymer-modified asphalt binders, *Eur. Polym. J.* 112 (2019) 766–791. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2018.10.049>.
- [11]. P. Kumar, R. Garg. Rheology of waste plastic fibre-modified bitumen, *Int. J. Pavement Eng.* 12(5) (2011) 449–459. <https://doi.org/10.1080/10298430903255296>.
- [12]. M.N. Rahman, M. Ahmeduzzaman, M.A. Sobhan, et al. Performance evaluation of waste polyethylene and PVC on hot asphalt mixtures, *Am. J. Civ. Eng. Archit.* 1(5) (2013) 97–102. <https://doi.org/10.12691/ajcea-1-5-2>.
- [13]. S. Kofteci, P. Ahmedzade, B. Kultayev. Performance evaluation of bitumen modified by various types of waste plastics, *Constr. Build. Mater.* 73 (2014) 592–602. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.09.067>.
- [14]. F. Dong, W. Zhao, Y. Zhang, et al. Influence of SBS and asphalt on SBS dispersion and the performance of modified asphalt, *Constr. Build. Mater.* 62 (2014) 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.09.067>.
- [15]. A.H. Abed. Effects of functionalized polyethylene and styrene butadiene styrene polymers on performance grade of local asphalt binder, *J. Eng.* 18(6) (2012) 735–742. <https://doi.org/10.31026/j.eng.2012.06.04>.
- [16]. M. Arabani, M.Y. Taleghani. Rutting behavior of hot mix asphalt modified by polyvinyl chloride powder, *Pet. Sci. Technol.* 35(15) (2017) 1621–1626. <https://doi.org/10.1080/10916466.2017.1336772>.
- [17]. G. Garcia-Trave, R. Tauste, F. Moreno-Navarro, et al. Use of reclaimed geomembranes for modification of mechanical performance of bituminous binders, *J. Mater. Civ. Eng.* 28(7) (2016) 04016021. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001507](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001507).
- [18]. F. Giustozzi, M. Crispino, E. Toraldo, et al. Mix design of polymer-modified and fiber-reinforced warm-mix asphalts with high amount of reclaimed asphalt pavement: achieving sustainable and high-performing pavements, *Transp. Res. Rec.* 2523(1) (2015) 3–10. <https://doi.org/10.3141/2523-01>.
- [19]. J.Y.M. Nunez, M.D.I. Domingos, A.L. Faxina. Susceptibility of low-density polyethylene and polyphosphoric acid-modified asphalt binders to rutting and fatigue cracking, *Constr. Build. Mater.* 73 (2014) 509–514. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.10.002>.
- [20]. F. Xiao, S. Amirkhanian, H. Wang, et al. Rheological property investigations for polymer and polyphosphoric acid modified asphalt binders at high temperatures, *Constr. Build. Mater.* 64 (2014) 316–323. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.04.082>.
- [21]. A. Bonicelli, P. Calvi, G. Martinez-Arguelles, et al. Experimental study on the use of rejuvenators and plastomeric polymers for improving durability of high RAP content asphalt mixtures, *Constr. Build. Mater.* 155 (2017) 37–44. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08.013>.
- [22]. R.K. Padhan, A. Sreeram. Enhancement of storage stability and rheological properties of polyethylene (PE) modified asphalt using cross linking and reactive polymer based additives, *Constr. Build. Mater.* 188 (2018) 772–780. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.08.155>.

Сведения об авторах

Е.И. Иманбаев – PhD, Ассоциированный профессор, ведущий научный сотрудник Института проблем горения, Алматы, Казахстан
E-mail: erzhan.imanbayev@gmail.com
ORCID: 0000-0001-8273-0020

Е.К. Онгарбаев – д.х.н., профессор, заведующей лабораторией нефтехимических процессов Института проблем горения, Алматы, Казахстан
E-mail: erdos.ongarbaev@kaznu.edu.kz
ORCID: 0000-0002-0418-9360

А.Б. Жамболова – PhD, ведущий научный сотрудник Института проблем горения, Алматы, Казахстан
E-mail: zhambolova.ainur@mail.ru

Е. Канжаркан – старший научный сотрудник Института проблем горения, Алматы, Казахстан
E-mail: kanzharkanyernar@gmail.com

А.Р. Кенжегалиева – старший научный сотрудник Института проблем горения, Алматы, Казахстан
E-mail: aleka4204@mail.ru

Ж.К. Мылтыкбаева – к.х.н., профессор, зав. лабораторией исследования и комплексного анализа горючих ископаемых и продуктов их переработки Института новых химических технологий и материалов КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан
E-mail: jannur81@mail.ru
ORCID: 0000-0003-4336-3920

У.К. Енсененова – докторант КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан
E-mail: uzilkhan.yensegenova@yu.edu.kz

А.Ч. Бусурманова – к.х.н., ассоциированный профессор, доцент кафедры естественные науки университета Есенова, Алматы, Казахстан
E-mail: akkenzhe.bussurmanova@yu.edu.kz
ORCID: 0000-0001-8228-7188

А.Ш. Аккенжеева – к.т.н., ассоциированный профессор, доцент кафедры нефтехимический инжиниринг университета Есенова, Алматы, Казахстан
E-mail: anar.akkenzheyeva@yu.edu.kz
ORCID: 0000-0002-9847-8218

Recycling Plastic Waste in An Environmentally Friendly Way – Using it in Road Construction

Y.I. Imanbayev^{1*}, Y.K. Ongarbayev^{1,2}, A.B. Zhambolova¹, E. Kanzhankan¹, A.R. Kenzhegalieva¹, Z.K. Myltykbaeva², U.K. Yensegenova², A.Ch. Bussurmanova³, A.Sh. Akkenzheyeva³

¹Institute of Combustion Problems, Bogenbay batyr st. , 172, Almaty, Kazakhstan

²Kazakh National University named after Al-Farabi, Al-Farabi ave., 71, Almaty, Kazakhstan

³Yessenov University, 32nd microdistrict, 1, Aktau, Kazakhstan

ABSTRACT

Full compliance with the technology of laying road surfaces does not always show high reliability. Low durability of roads is determined by insufficient quality indicators of the bitumen used. Therefore, the transition to the use of polymer-bitumen binders is a trend in the development of the road industry, which have higher quality characteristics. Most often, thermoplastic elastomers of the styrene-butadiene-styrene type are used to modify bitumen, which are characterized by a relatively high cost. This work experimentally demonstrates the effect of the combined use of plastic waste and ready-made polymer modifiers on the rheological properties and chemical bond of bitumen binders to reduce the cost of polymer-bitumen binders. In the work, secondary polyethylenes of different densities (LDPE and HDPE) were used in an amount of 1 to 2% together with ready-made polymer modifiers (SBS and Elvaloy). The physical-mechanical properties of the obtained bitumen binders were determined by standard methods according to ST RK. The results of the study show that with the increase of plastic waste, the plasticity range of bitumen in the presence of modifiers increases. This indicates that the finished polymers have a significant effect on improving the physical and mechanical properties of modified bitumen. New results were obtained on the effect of plastic waste on the quality of polymer-bitumen binder. According to the results of the work, it was found that the selected plastic waste is compatible with the ready-made polymer modifiers.

Keywords: road bitumen, bitumen modification, plastic waste, bitumen modifiers, polymer-bitumen binders.

Пластикалық қалдықтарды экологиялық таза жолмен қайта өңдеу – жол құрылысында пайдалану тиімділігі

Е.И. Иманбаев^{1*}, Е.К. Оңғарбаев^{1,2}, А.Б. Жамболова¹, Е. Канжаркан¹, А.Р. Кенжегалиева¹, Ж.К. Мылтықбаева², У.К. Енсененова², А.Ч. Бусурманова³, А.Ш. Аккенжеева³

¹Жану проблемалары институты, Бөгенбай батыр к., 172, Алматы, Қазақстан

²Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, әл-Фараби д., 71, Алматы, Қазақстан

³Есенов атындағы университет, 32-шағын аудан, 1, Ақтау, Қазақстан

АҢДАТПА

Жол төсемдерін төсеу технологиясына толық сәйкестік әрқашан жоғары сенімділікті көрсете бермейді. Жолдардың төмен төзімділігі пайдаланылатын битум сапасының жеткіліксіз көрсеткіштерімен анықталады. Сондықтан полимер-битум байланыстырғыштарды қолдануға көшу жоғары сапалық сипаттамалары бар жол саласының даму тенденциясы болып табылады. Көбінесе стирол-бутадиен-стирол түріндегі термопластикалық эластомерлер битумды өзгерту үшін қолданылады, олар салыстырмалы түрде жоғары құнымен сипатталады. Бұл зерттеуде тәжірибиелік түрде полимер-битум байланыстырғыш заттардың құнын төмендету үшін бірлескен пластикалық қалдықтары мен дайын модификаторларды пайдаланудың битум байланыстырғыштың реологиялық қасиеттеріне және химиялық байланысына әсерін көрсету болып табылады. Жұмыста дайын полимер модификаторларымен (СБС және Elvaloy) бірге әртүрлі тығыздықтағы екіншілік полиэтилендер (LDPE және HDPE) 1-ден 2% -ға дейін қолданылды. Алынған битум байланыстырғыш заттардың физика-механикалық қасиеттері ҚР СТ бойынша стандартты әдістермен анықталды. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, пластик қалдықтары мөлшері артуымен модификаторлардың қатысында битумның пластикалық интервалы артады. Бұл дайын полимерлердің модификацияланған битумның физикалық-механикалық қасиеттерін жақсартуға айтарлықтай әсер ететінін көрсетеді. Пластик қалдықтарының полимер-битум байланыстырғыш сапасына әсері бойынша жаңа нәтижелер алынды. Жұмыс нәтижесі бойынша таңдалған пластик қалдықтары дайын полимер модификаторларымен үйлесімді екені анықталды.

Түйін сөздер: жол битумы, битум модификациясы, пластикалық қалдықтар, битум модификаторлары, полимер-битум байланыстырғыштары.