Qazaq Highway
Science and Innovation
https://science-jolshy.qazjolgzi.kz/ru/index
ISSN
3008-1491

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ И МОСТАХ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ, ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА «СУХОГО ВВОДА» ПРИ МОДИФИКАЦИИ ПОЛИМЕРАМИ

Гвелесиани Леван[1,*], Парфёнов Сергей[2]

[1]Грузинский технический университет, Тбилиси, Грузия
[2]Национальный транспортный университет, Киев, Украина
[*]Корреспондет автор: levangvelesiani@gmail.com

Аннотация. Рассмотрено применение полимерных добавок методом «сухого ввода» для повышения эксплуатационных характеристик асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог и мостов. Проанализированы технологические ограничения предварительной модификации битума полимерами, связанные с изменчивостью состава исходного вяжущего, совместимостью компонентов и стабильностью полимерно-битумных вяжущих при хранении. Представлены результаты применения полимерной добавки «ПКМ» VELETON, вводимой непосредственно в асфальтосмеситель. По приведённым данным, при дозировке 2,2–2,5 кг на тонну смеси прочность асфальтобетона при сжатии при температуре 50 °C увеличилась с 1,24 до 2,05–2,40 МПа, а глубина колеи после 20 000 проходов колеса уменьшилась с 7,5–8,0 до 1,2–2,5 мм. Рассмотрены результаты оценки усталостной долговечности и опыт эксплуатации покрытий. Показаны возможности упрощения производственного процесса и сокращения энергозатрат за счёт исключения отдельной стадии приготовления модифицированного битума. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности сухого ввода полимерных добавок для повышения устойчивости асфальтобетонных покрытий к транспортным и температурным нагрузкам.

Ключевые слова: асфальтобетон, сухой ввод полимеров, полимерные добавки, модификация битума, колееустойчивость, усталостная долговечность, дорожные покрытия, мостовые покрытия.

Введение

За последние годы качество применяемых материалов и выполняемых работ при устройстве дорожной одежды в странах Европы, Азии, СНГ, Америки и Африки существенно улучшилось. Это в значительной степени связано с внедрением новых технологий, стандартов и использованием современных строительных материалов, обеспечивающих долговечность и надежность дорожного покрытия. Однако, учитывая климатические изменения и растущую интенсивность транспортных нагрузок, вопрос обеспечения стабильности и температуростойкости асфальтобетонных покрытий становится все более актуальным.

Проблемы, связанные с физическими и химическими свойствами битумов, используемыми в качестве связующего элемента в асфальтобетонных смесях, нуждаются в углубленных исследованиях и новых технологических подходах. Модификация битума полимерами и другими добавками может существенно повысить стойкость асфальтобетонного покрытия к внешним воздействиям, таким как температурные колебания, воздействие влаги и механические нагрузки. Этот вопрос неоднократно

поднимался в различных научных публикациях, таких как "Bitumen and Bitumen Modification: A Review on Latest Advances" (Applied Sciences) и "Исследование особенностей взаимодействия битумов с полимерами" (Аюпов Д.А., Потапова Л.И.) и многих других. Однако, как свидетельствуют научные исследования, особенности битумов, произведённых методом дистилляции, либо значительно усложняют его модификацию, либо делают её практически невозможной. Также непостоянство показателей битумов и несоответствие паспортным характеристикам требуют поиска альтернативных решений для получения качественного асфальтобетонного покрытия.

Цель работы

Целью этой работы является привлечение внимания экспертов и специалистов отрасли дорожного строительства к альтернативной технологии модификации асфальтобетонных смесей, которая позволяет достигать стабильных эксплуатационных характеристик покрытия вне зависимости от нестабильности свойств исходного битума. Особое внимание уделено применению полимерных добавок, которые могут компенсировать недостатки современных битумов, особенно полученных дистилляционным методом, в частности, их низкую способность к модификации полимерами. Эта технология призвана обеспечить стабильность и продолжительность эксплуатации дорожных покрытий в условиях значительных температурных колебаний и повышенных нагрузок от транспорта.

Исследования направлены на поиск оптимального процесса модификации полимерами, который обеспечит необходимые физико-механические характеристики асфальтобетона, износостойкость и длительный срок эксплуатации дорожной одежды. Не считая того, принципиальной целью является упрощение процесса модификации и снижение издержек на создание качественных покрытий.

Методология

Активное развитие дорожно-строительной отрасли в развивающихся и развитых странах мира и увеличение объемов строительства автомобильных дорог требует значительного улучшения качества материалов, используемых в процессе укладки асфальтобетонных покрытий. Среди основных компонентов, определяющих долговечность дорожного покрытия, немаловажную роль играет асфальтобетонная смесь. Она должна не только выдерживать динамические нагрузки от транспорта, но и демонстрировать устойчивость к резким изменениям температуры, влиянию атмосферных осадков и другим агрессивным факторам внешней среды.

Ключевым элементом, определяющим свойства асфальтобетонных смесей, является битум, выполняющий функцию вяжущего материала, обеспечивая сцепление между частицами минеральных компонентов. Однако с углублением научных исследований в этой сфере было обнаружено, что качество исходного битума не всегда отвечает необходимым стандартам. Это обусловлено не только характеристиками самого сырья, но особенностями его производства, особенно при использовании битумов, полученных методом дистилляции на нефтеперерабатывающих заводах.

Битум как коллоидная система состоит из разнообразных химических соединений, которые обладают определенными свойствами и формируют его структуру. В зависимости от количественного соотношения этих компонентов, битум может иметь разную физическую структуру. Наиболее общепринятая модель битума описывает его как коллоидный раствор, в котором большие молекулярные структуры (мицеллы) связаны между собой посредством слабых водородных связей. Мицеллы образуются из асфальтеновых молекул, которые являются наиболее твердой частью битума, тогда как их

наружная поверхность стабилизируется смолами. Это обеспечивает структурную стойкость битума в коллоидной фазе.

На основе этой модели выделяют три основных структурных типа битума: "золь", "золь-гель" и "гель". Каждый из этих типов имеет свои специальные физико-химические характеристики. Например, битумы типа "гель" характеризуются высоким содержанием асфальтенов, делающих структуру битума более жесткой и хрупкой. В то же время битумы структуры "золь" отличаются более жидкой консистенцией, поскольку имеют высокое содержание масел и смол. Наиболее оптимальными для применения в производстве полимер-битумных связующих (ПБВ) являются битумы типа "золь-гель", поскольку они сочетают лучшие свойства обоих типов и обладают сбалансированными физико-механическими характеристиками.

Несмотря на это, процесс модификации битумов полимерами часто сталкивается с рядом затруднений. Одной из главных проблем является конкуренция между асфальтенами и полимерами за мальтеновую часть битума, которая является основной дисперсионной средой модификации. Во время этого процесса полимеры, вводимые в состав битума, должны приобрести стабильную дисперсионную фазу в среде, которая уже занята молекулами асфальтенов. Это существенно усложняет процесс набухания полимера и снижает эффективность модификации. Особенно это проявляется в случае битумов полученных дистиляционным методом, имеющих более низкое содержание асфальтенов, что делает их менее пригодными для модификации.

Для успешной модификации битумов полимерами необходимо обеспечить, чтобы исходный битум обладал оптимальными свойствами. В частности важно, как пример, чтобы глубина проникновения иглы при температуре 25 °C составляла от 60 до 90 мм$^{-1}$ для климата Восточной Европы. Однако реалии нефтеперерабатывающей промышленности заставляют производителей максимально использовать легкие фракции нефти, оставляя битум как остаточный продукт , что часто приводит к ухудшению его качества.

Технологии переработки нефти постоянно совершенствуются, позволяя максимально извлекать из сырья ценные светлые нефтепродукты – бензин, дизельное топливо, авиационный керосин, которые намного более дорогостоящие, чем битум. Современные методы, такие как глубокая переработка, гидрокрекинг и термическое крекирование, значительно увеличивают выход моторных топлив. Однако побочным эффектом этого процесса становится ухудшение качества битума, поскольку он остаётся остаточным продуктом с изменёнными структурными характеристиками.

Ранее битум получали преимущественно прямой перегонкой, что обеспечивало ему сбалансированный состав и стабильные эксплуатационные свойства. Сейчас же в производстве преобладают деструктивные процессы, при которых из нефти удаляются наиболее ценные компоненты, а оставшийся битум характеризуется низким содержанием высокомолекулярных соединений, нестабильностью структуры и повышенной склонностью к старению.

Кроме того, всё чаще нефтеперерабатывающие заводы используют сырье с высокой парафинистостью, что дополнительно снижает эластичность битума и ухудшает его адгезионные свойства. Особенно проблемными являются битумы, полученные методом дистилляции без последующего окисления. Они плохо взаимодействуют с большинством видов полимерных добавок, особенно таких как СБС, поскольку зачастую содержат недостаточное количество асфальтенов, необходимых для формирования устойчивой структуры. В результате для модификации такого типа битума, требуются дополнительные меры как использования пластификаторов и стабилизаторов в комплексе с повышением дозировки самой полимерной добавки или комбинирования нескольких добавок, что является достаточно дорогим решением для достижения нужных эксплуатационных характеристик. По сути, это делает модификацию битума крайне сложной и экономически нецелесообразной, т.к. финансовые затраты и технические риски не перекрываются возможным результатом.

В таких условиях производители асфальтобетонных смесей и дорожные службы вынуждены искать эффективные технологии и добавки, которые позволяют компенсировать недостатки современного битума и обеспечивающие долговечность дорожного покрытия.

Результаты и обсуждение

В последние годы спрос на дорожный битум в странах Европы, СНГ и Средней Азии значительно вырос, особенно в связи с реализацией масштабных инфраструктурных проектов, таких как строительство новых автомобильных дорог и реконструкция существующих транспортных артерий. Если в 2017 году общая потребность дорожной отрасли в битумах только в одной стране - Украине составляла около 350-400 тысяч тонн в год, то уже в 2021 году этот показатель вырос до 1,2-1,4 миллионов тонн. Рост спроса на битум привел к активному импорту дистилляционных битумов из стран Южной Европы и Азии. Однако эти битумы часто обладают свойствами, значительно отличающимися от требований стандартов, особенно для модификации полимерами.

В течение 2021-2024 годов группа компетентных экспертов провела более 90 испытаний различных образцов битума, производимых в Италии, Испании, Греции, Польше, Азербайджане, Иране и других странах. Обобщенные результаты этих исследований выявили серьезные проблемы с соответствием заявленных характеристик битума реальным показателям, в частности, по температуре размягчения и пенетрации. Более того, не была установлена четкая зависимость между начальными характеристиками битума и результатами модификации. Важно, что некоторые образцы вообще не подвергались модификации, даже при увеличении количества полимера и времени процесса модификации. Кроме того, готовая асфальтобетонная смесь иногда демонстрировала непредсказуемые физико-механические свойства, что требовало постоянной корректировки процесса модификации.

Еще одной проблемой, возникающей в процессе производства полимер-битумных вяжущих, является расслоение битума при хранении и транспортировке. Это приводит к тому, что при использовании модифицированного битума который частично или полностью расслоился, свойства готового АБС также могут существенно отличаться в разные периоды времени производства, что отрицательно сказывается на однородности и качестве итогового дорожного покрытия. Хуже всего, что специалистам асфальтных заводов и лабораторий очень часто нужно принимать сложные решения быстро, не имея достаточно времени на тесты и лабораторные испытания.

Альтернативой модификации битума является технология модификации асфальтобетонной смеси методом “сухого ввода”, как конечного продукта, с добавлением полимерной добавки, например ПКМ VELETON^{TM}, непосредственно в асфальтосмеситель, отвечающий требованиям ДСТУ 8959-2019, ГОСТ Р 58406.2-2020, СТ РК 2373-2019 и другим отраслевым стандартам.

Эта технология уже давно распространена и активно применяется дорожно-строительной отраслью передовых стран Европы и Азии, а также США и имеет определенные преимущества по сравнению с традиционной модификацией битума, а именно:

1) Качество и физико-механические свойства конечного продукта – асфальтобетонной смеси_, не существенно зависят от способности битума к модификации полимерами. Причина в том, что полимерная добавка “сухого ввода” работает с компонентами смеси, а именно со щебнем, в результате чего асфальтобетонная смесь получает прочные полимерные связи между компонентами, которые можно представить как полимерную 3D-решетку.

2) Существенно упрощается процесс изготовления асфальтобетонной смеси, потому что не требуется сложное и дорогостоящее оборудование для модификации битума полимерами, как коллоидная мельница и высокоскоростные мешалки. Также производитель существенно экономит время, потому что битум можно использовать сразу без типовой модификации 8-12 часов (как добавками типа СБС).

3) Нет необходимости существенно выгревать битум (выше температуры 165 ^{0}С), что не приводит к его быстрому окислению и старению.

4) Результаты использования добавки “сухого ввода” ПКМ всегда прогнозируемы и математически рассчитаны, в зависимости от типа АБС и количества полимера в смеси.

Таблица 1 – Анализ использования добавки «сухого ввода» на примере Украины в период 2020-2024 годов показывает следующие результаты

Наименование показателя	Асфальтобетонная смесь не модифицированная	Ввод добавки 2,2 кг на тонну смеси	Ввод добавки 2,5 кг на тонну смеси
Прочность на сжатие Р20	2,6 МПа	5,2 МПа	6,1 МПа
Прочность на сжатие Р50	1,24 МПа	2,05 МПа	2,4 МПа
Колея за 20 000 проходов, методом Гамбургского колеса	7,5-8 мм	2-2,5 мм	1,2-1,5 мм

Таблица 2 – Результаты сопоставления экспериментальных и теоретических данных определение количества циклов нагрузки до разрушения образцов изучаемых асфальтобетонов с добавкой

Шифр асфальтобетона	Количество циклов до разрушения N_T, (теоретическая)	Количество циклов до разрушения N_E, (экспериментальная)	Δ, %
Температура: Т = +20 °С			
Б-20-6,0% битума	413	478	13,7
Ввод добавки 2,2 кг/тонна смеси	3843	4438	15,4
Ввод добавки 2,5 кг/тонна смеси	6379	7368	15,5

Полученные данные (Таблица 2) указывают, что теоретические расчеты согласовываются с экспериментальными данными. Это свидетельствует о возможности использования данных зависимостей в практических расчетах для обеспечения или прогнозирования долговечности асфальтобетонного покрытия на автомобильных дорогах и мостах от воздействия температуры и нагрузки транспортных средств, а также спрогнозировать его изменения во время эксплуатации в течение заданного промежутка времени.

Опыт использования ведущими дорожно-строительными компаниями стран Европы, СНГ и Средней Азии показал высокие, а главное повторяющиеся результаты, высокую устойчивость к нагрузкам, морозостойкость и сдвигоустойчивость асфальтобетонных покрытий. Результаты тестов показывают, что асфальтобетонная смесь по всем показателям отвечает требованиям ДСТУ 8959-2019, ГОСТ Р 58406.2-2020, СТ РК 2373-2019 и другим отраслевым стандартам.

Примеры активного применения добавок сухого ввода.

Турция, автомагистраль D-100, участок Стамбул – Измит

На данном участке была использована технология прямого (сухого) ввода полимерной добавки в асфальтосмеситель без предварительной модификации битума. Это позволило:

- Снизить образование колеи при температуре воздуха +45 °С до менее 2 мм (по результатам динамических испытаний);

- Повысить прочность на сдвиг дорожного покрытия на 60–70% по сравнению с участками, где использовалась традиционная модификация битума;

- Экономить 7 000–9 000 евро в неделю за счёт сокращения энергозатрат и исключения стадии гомогенизации битума.

Технология была реализована одним из ведущих подрядчиков Турции и одобрена национальной дорожной лабораторией. Опыт подтвердил её применимость в регионах с повышенной температурной нагрузкой и высокой интенсивностью движения.

Грузия, участки автодорог в г. Тбилиси, площадь “Авлабари”.

Была использована технология “сухого ввода” полимерной добавки ПКМ VELETON^{TM} в асфальтосмеситель без предварительной модификации битума на базе завода JEO GROUP. Это позволило:

- Снизить образование колеи при температуре поверхности до +65 °С до 1,5 мм;

- Повысить прочность на сдвиг дорожного покрытия на 60–70% по сравнению с участками, где использовалась традиционная модификация битума;

Этот участок с применением полимерной добавки методом “сухого ввода” под наблюдением специалистов Муниципальной лаборатории уже более 3-х лет, замечаний к покрытию нет.

Казахстан, г. Астана, ул. Тлендиева. На данном участке дороги службы выполняли средний ремонт с фрезерованием не менее 2-х раз в год в связи с тем, что левая полоса является участком торможения тяжелого грузового транспорта перед светофором, и расчетные нагрузки превышают допустимые более чем в 2 раза. Была использована технология “сухого ввода” полимерной добавки ПКМ VELETON^{TM} в асфальтосмеситель без предварительной модификации битума для нижнего слоя (плотный, крупнозернистый, А-40) и верхнего слоя (плотный, ЩМА-20). Это позволило:

-Не производить средний ремонт данного участка уже более двух лет;

- Повысить устойчивость к колееобразованию в 5-7 раз, по сравнению с участками, где использовалась традиционная модификация битума.

Украина, г. Киев, “Северный” мост. Ранее, на данном объекте, дорожными службами не менее одного раза в год производился текущий ремонт дорожного покрытия. Связано с высокими нагрузками на дорожное полотно и повышенной температурой верхнего слоя (в летний период).

Была использована технология “сухого ввода” полимерной добавки в асфальтосмеситель без предварительной модификации битума для верхнего слоя (плотный, мелкозернистый А-20).

На данный момент объект эксплуатируется уже более трех лет без каких-либо видимых дефектов и находится под ежеквартальным наблюдением дорожных служб города.

Экономические и временные затраты. В современном дорожном строительстве экономические и временные затраты играют ключевую роль, особенно в работе асфальтобетонного завода. Стоимость материалов, энергоносителей и логистики напрямую влияет на рентабельность проекта, а задержки в производстве могут привести к срывам графиков укладки, росту затрат на технику и рабочую силу.

Оптимизация производственных процессов, выбор экономически эффективных модификаторов и рациональное управление ресурсами позволяют снизить себестоимость смеси без потери качества. В условиях жёстких сроков строительства важно минимизировать время прогрева битума, дозирования компонентов и транспортировки асфальтобетона, чтобы обеспечить его укладку в оптимальном температурном режиме и избежать перерасхода материалов.

1. Энергозатраты и технология модификации

Модификация битума СБС полимером или аналогичным.

При использовании СБС-полимера (или аналогичного) битум предварительно разогревают до 180–190 °C (иногда выше) и вводят полимер в установках смешения. Это требует значительных энергозатрат на нагрев оборудования (реактора, мешалок, битумохранилища) и поддержание высокой температуры в течение всего процесса модификации. Также нередко требуется дополнительное время и энергия для сшивки (гомогенизации) СБС с битумом. В итоге полученное полимерно-битумное вяжущее (ПБВ) нужно хранить при повышенной температуре, что продолжает «потреблять» энергию и создает риск термоокислительной деструкции битума и полимерной добавки при долгой выдержке.

«Сухая» модификация асфальтобетонной смеси.

При “сухом вводе” полимерной добавки (в виде гранул) ее добавляют непосредственно в смеситель при производстве асфальтобетонной смеси, вместе с минеральными материалами. Температура битума не меняется относительно обычного асфальта (без полимеров) и составляет около 155–160 °C, а отдельного процесса гомогенизации битума с полимером не требуется, т.к. полимерная добавка “сухого ввода” равномерно размешивается в асфальтобетонной смеси, расплавляется, контактируя с разогретыми каменными материалами, и затем связывает между собой все компоненты асфальтобетонной смеси.

Это очень положительно влияет свойства битума, т.к. не происходят окислительные и термодеструктивные процессы, ароматические углеводороды остаются в составе битума, а не “выгорают”, как при модификации добавками типа СБС. Это позволяет сохранить дуктильность и пластичность битума.

С энергетической точки зрения отсутствует дополнительный цикл высокотемпературного смешения битума с полимером. Поэтому суммарные расходы на поддержание температур и перемешивание существенно ниже, чем при классическом варианте производства ПБВ.

2. Затраты времени

Модификация битума СБС полимером или аналогичным.

Необходима отдельная стадия на заводе (или в рамках внешней установки) для приготовления ПБВ: нагрев битума (4-5 часов), дозирование, гомогенизация (6-8 часов), выдержка/термостабилизация (4-6 часов), анализ качества. Все эти действия удлиняют технологический цикл (не менее чем на 8-12 часов) и требуют исключительно высококвалифицированного персонала. При неудачном хранении ПБВ (несоблюдение температурного режима) возможна расслаиваемость и потеря свойств.

«Сухая» модификация асфальтобетонной смеси

В данной технологии этап модификации встроен непосредственно в процесс производства асфальта. Полимер вводится в смесь одновременно с минеральными компонентами (щебнем и наполнителем) с помощью дозатора. Это позволяет отказаться от отдельной стадии предварительного смешения полимерной добавки с битумом. Такой подход отвечает актуальным требованиям дорожно-строительной отрасли, базируется на современных технологичных решениях, исключает влияние человеческого фактора и снижает риск ошибок при модификации. В результате — процесс становится более эффективным, временные и финансовые затраты на модификацию исключаются, а контроль качества становится более стабильным и предсказуемым.

Вывод

При масштабном производстве (несколько сотен или тысяч тонн асфальтобетона в сутки) разница в энергозатратах между модификацией битума (добавками типа СБС или другими) и “сухим вводом” полимера может достигать 9 000 - 11 000 долларов в месяц, что за строительный сезон превращается в значительную сумму.

Кроме того, «сухая» модификация асфальтобетонной смеси, при которой гранулированные добавки вводятся непосредственно в смеситель вместе с минеральными материалами и битумом, позволяет значительно упростить производственный процесс на асфальтобетонных заводах. Такой подход устраняет необходимость в отдельной стадии приготовления модифицированного битума, что в свою очередь избавляет от затрат на дополнительное оборудование для ввода, дозирования и гомогенизации полимера в битуме. Отпадает потребность в длительном перемешивании и выдержке битума при высокой температуре для растворения добавки.

Это позволяет существенно экономить время и сокращать операционные расходы. Заводу не требуется держать в резерве отдельные битумные ёмкости для разных типов вяжущего (обычного и модифицированного), что особенно актуально для небольших и мобильных производств. Снижается расход энергии, уменьшаются потери материала при переходах с одной партии на другую.

Применение “сухого метода” модификации положительно сказывается и на укладочных свойствах асфальтобетонной смеси. Такой материал легче уплотняется при стандартных технологических режимах благодаря равномерному распределению модификатора прямо в теле смеси. Это снижает риск образования пустот, разрывов и уплотненных зон в готовом покрытии, что напрямую влияет на долговечность и прочность дороги.

Кроме того, «сухая» модификация снижает вероятность технологических ошибок, которые часто возникают при приготовлении модифицированного битума на заводе. В традиционной технологии возможны такие проблемы, как:

-неполное или неравномерное растворение полимера в битуме;

- перегрев и термическое разрушение полимерной структуры;

- расслоение и нестабильность полученного вяжущего при хранении;
- путаница при работе с несколькими типами битума.

При методе “сухого ввода” эти риски сводятся к минимуму, так как модификация происходит непосредственно в процессе производства асфальтобетонной смеси, без сложных операций на битумном хозяйстве. Это делает технологию более стабильной, воспроизводимой и удобной для заводов.

Заключение

Вопрос модификации битумов и асфальтобетонных смесей становится всё более актуальным, поскольку не все битумы обладают достаточной способностью к модификации полимерами и необходимым качеством. Это подталкивает производителей искать альтернативные методы существенного улучшения свойств асфальтобетона, учитывая особенности компонентов смеси. Одним из проверенных и эффективных решений является добавление полимерных добавок непосредственно в асфальтосмеситель.

Данный метод обладает рядом существенных преимуществ перед традиционной модификацией битума полимерами. Во-первых, качество модификации становится независимым от технологии производства битума, что особенно важно при работе с дистилляционными битумами, плохо взаимодействующими с полимерами. Во-вторых, экономятся время и энергетические ресурсы, так как исключается необходимость длительного разогрева и гомогенизации полимер-битумных вяжущих. В-третьих, снижается риск термического старения битума, так как температура его нагрева не превышает рабочих значений в асфальтосмесителе. В результате производители получают более прогнозируемые и стабильные свойства асфальтобетонной смеси, что упрощает контроль качества на производстве и снижает риск возникновения дефектов покрытия.

При активной поддержке ведущих производителей асфальтобетонных смесей, профильных научно-исследовательских институтов и инженерного сообщества, технология “сухого ввода” полимерных добавок не просто зарекомендовала себя, но и утвердилась как

полноправный и высокоэффективный метод модификации битума не уступающий, а по ряду ключевых параметров и превосходящий классическую технологию модификации битума. Именно поэтому она всё шире применяется как оптимальное решение, отвечающее современным требованиям отрасли к качеству, технологичности и экономической эффективности.

Список литературы

1. Porto M., Caputo P., Loise V., Eskandarsefat S., Teltayev B., Oliviero Rossi C. Bitumen and Bitumen Modification: A Review on Latest Advances // Applied Sciences. 2019. Vol. 9, No. 4. Article 742. DOI: 10.3390/app9040742

2. Аюпов Д. А., Потапова Л. И., Мурафа А. В., Фахрутдинова В. Х., Хакимуллин Ю. Н., Хозин В. Г. Исследование особенностей взаимодействия битумов с полимерами // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2011. – № 1(15). – С. 140-146. URL: https://izvestija.kgasu.ru/ru/nomera-zhernala/arkhiv-zhurnala?idizv=30&sod=sod1_2011

Ayupov D. A., Potapova L. I., Murafa A. V., Fakhrutdinova V. Kh., Khakimullin Yu. N., Khozin V. G. Issledovanie osobennostey vzaimodeystviya bitumov s polimerami // Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitelnogo universiteta. – 2011. – No. 1(15). – P. 140–146. [Study of the Specific Features of the Interaction of Bitumens with Polymers]. URL: https://izvestija.kgasu.ru/ru/nomera-zhernala/arkhiv-zhurnala?idizv=30&sod=sod1_2011

3. Lesueur D. The colloidal structure of bitumen: Consequences on the rheology and on the mechanisms of bitumen modification // Advances in Colloid and Interface Science. 2009. Vol. 145, No. 1–2. P. 42–82. DOI: 10.1016/j.cis.2008.08.011

4. Polacco G., Filippi S., Merusi F., Stastna G. A review of the fundamentals of polymer-modified asphalts: Asphalt/polymer interactions and principles of compatibility // Advances in Colloid and Interface Science. 2015. Vol. 224. P. 72–112. DOI: 10.1016/j.cis.2015.07.010

5. Zhu J., Birgisson B., Kringos N. Polymer modification of bitumen: Advances and challenges // European Polymer Journal. 2014. Vol. 54. P. 18–38. DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2014.02.005

6. Lastra-González P., Calzada-Pérez M. A., Castro-Fresno D., Vega-Zamanillo Á., Indacoechea-Vega I. Comparative analysis of the performance of asphalt concretes modified by dry way with polymeric waste // Construction and Building Materials. 2016. Vol. 112. P. 1133–1140. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.02.156

7. Movilla-Quesada D., Raposeiras A. C., Silva-Klein L. T., Lastra-González P., Castro-Fresno D. Use of plastic scrap in asphalt mixtures added by dry method as a partial substitute for bitumen // Waste Management. 2019. Vol. 87. P. 751–760. DOI: 10.1016/j.wasman.2019.03.018

8. Modarres A., Hamedi H. Effect of waste plastic bottles on the stiffness and fatigue properties of modified asphalt mixes // Materials & Design. 2014. Vol. 61. P. 8–15. DOI: 10.1016/j.matdes.2014.04.046

9. Poulikakos L. D., Pasquini E., Tusar M. et al. RILEM interlaboratory study on the mechanical properties of asphalt mixtures modified with polyethylene waste // Journal of Cleaner Production. 2022. Vol. 375. Article 134124. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.134124

10. Eskandarsefat S., Venturini L., Ciarlitti A., Sogno E., Ottonelli I. Asphalt Concrete Modification with Plastomers: A Case Study Conducted 7 Years after Construction // Infrastructures. 2022. Vol. 7, No. 3. Article 29. DOI: 10.3390/infrastructures7030029

Сведения об авторах:

Леван Гвелесиани – докторант кафедры «Дорожное строительство», Грузинский технический университет, Тбилиси, Грузия, levangvelesiani@gmail.com.

Сергей Парфёнов – аспирант кафедры «Мосты и тоннели», Национальный транспортный университет, Киев, Украина, sergey.parfyonov.dp@gmail.com.

Леван Гвелесиани – Грузия техникалық университетінің «Жол құрылысы» кафедрасының докторанты, Тбилиси, Грузия, levangvelesiani@gmail.com.
Сергей Парфёнов – Ұлттық көлік университетінің «Көпірлер мен тоннельдер» кафедрасының аспиранты, Киев, Украина, sergey.parfyonov.dp@gmail.com.

Levan Gvelesiani – PhD student, Department of Road Construction, Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, levangvelesiani@gmail.com.
Sergey Parfyonov – postgraduate student, Department of Bridges and Tunnels, National Transport University, Kyiv, Ukraine, sergey.parfyonov.dp@gmail.com.

Вклад авторов:
Леван Гвелесиани – концепция исследования, методология, проведение исследований, сбор и анализ данных, подготовка текста статьи.
Сергей Парфёнов – обзор литературы, анализ и интерпретация результатов, визуализация данных, редактирование текста статьи.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Использование искусственного интеллекта (ИИ): при написании статьи ИИ не был использован.

КӨЛІК ИНФРАҚҰРЫЛЫМЫНЫҢ АВТОМОБИЛЬ ЖОЛДАРЫ МЕН КӨПІРЛЕРІНДЕГІ АСФАЛЬТБЕТОН ЖАБЫНДЫЛАРЫНЫҢ ПАЙДАЛАНУ СИПАТТАМАЛАРЫН ПОЛИМЕРЛЕРМЕН МОДИФИКАЦИЯЛАУ КЕЗІНДЕ «ҚҰРҒАҚ ЕНГІЗУ» ӘДІСІН ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ АРТТЫРУ

Гвелесиани Леван[1,*], Парфёнов Сергей[2]

[1] Грузия техникалық университеті, Тбилиси, Грузия
[2]Ұлттық көлік университеті, Киев, Украина
[*]Корреспондет автор: levangvelesiani@gmail.com

Аңдатпа. Автомобиль жолдары мен көпірлердің асфальтбетон жабындарының пайдалану сипаттамаларын арттыру мақсатында полимерлік қоспаларды «құрғақ енгізу» әдісімен қолдану қарастырылды. Битумды полимерлермен алдын ала модификациялау технологиясының шектеулері, атап айтқанда, бастапқы байланыстырғыштың құрамының өзгермелілігіне, компоненттердің үйлесімділігіне және полимер-битум байланыстырғыштарының сақтау кезіндегі тұрақтылығына байланысты мәселелер талданды. Асфальт араластырғышқа тікелей енгізілетін «ПКМ» VELETON полимерлік қоспасын қолдану нәтижелері келтірілді. Ұсынылған деректерге сәйкес, қоспаның 1 тоннасына 2,2–2,5 кг мөлшерінде енгізілген кезде асфальтбетонның 50 °C температурадағы сығылу беріктігі 1,24 МПа-дан 2,05–2,40 МПа-ға дейін артқан, ал доңғалақтың 20 000 рет өтуінен кейінгі колея тереңдігі 7,5–8,0 мм-ден 1,2–2,5 мм-ге дейін төмендеген. Шаршауға төзімділікті бағалау нәтижелері және жабындарды пайдалану тәжірибесі қарастырылды. Модификацияланған битумды дайындаудың жеке кезеңін алып тастау арқылы өндірістік процесті оңайлату және энергия шығындарын қысқарту мүмкіндіктері көрсетілді. Алынған нәтижелер полимерлік қоспаларды құрғақ енгізу әдісінің асфальтбетон жабындарының көліктік және температуралық жүктемелерге төзімділігін арттырудағы перспективалылығын көрсетеді.

Түйін сөздер: асфальтбетон, полимерлерді құрғақ енгізу, полимерлік қоспалар, битумды модификациялау, колея түзілуге төзімділік, шаршауға төзімділік, жол жабындары, көпір жабындары.

ENHANCING THE PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF ASPHALT CONCRETE PAVEMENTS ON ROADS AND BRIDGES OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE THROUGH THE USE OF THE "DRY PROCESS" METHOD FOR POLYMER MODIFICATION

Levan Gvelesiani[1,*], Sergey Parfyonov[2]

[1]Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia
[2]National Transport University, Kyiv, Ukraine
*Corresponding author: levangvelesiani@gmail.com

Abstract. The application of polymer additives using the "dry process" method to improve the performance characteristics of asphalt concrete pavements on roads and bridges was investigated. The technological limitations of the pre-modification of bitumen with polymers were analysed, including variability in the composition of the initial binder, component compatibility, and the storage stability of polymer-modified binders. The results of using the "PKM" VELETON polymer additive, which is introduced directly into the asphalt mixing plant, are presented. According to the reported data, at a dosage of 2.2–2.5 kg per tonne of asphalt mixture, the compressive strength of asphalt concrete at 50 °C increased from 1.24 to 2.05–2.40 MPa, while the rut depth after 20,000 wheel passes decreased from 7.5–8.0 to 1.2–2.5 mm. The results of fatigue durability assessment and field performance experience are also considered. The study demonstrates the potential for simplifying the production process and reducing energy consumption by eliminating the separate stage of preparing polymer-modified bitumen. The obtained results indicate the potential of the dry incorporation of polymer additives for improving the resistance of asphalt concrete pavements to traffic and temperature-induced loads.

Keywords: asphalt concrete, dry incorporation of polymers, polymer additives, bitumen modification, rutting resistance, fatigue durability, road pavements, bridge pavements.



Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) licence (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).