

МРНТИ 67.09.45

А.А. Жумагулова¹ – основной автор, ©
Д.С. Дюсембинов², Е.Е. Сабитов³,
А.М. Алишинбаева⁴, А.А. Бакирбаева⁵, Ж.А. Шахмов⁶



^{1,2}Канд. техн. наук, и.о. доцента, ³Канд. техн. наук, и.о. профессора,
⁴Заведующая лабораторией, ⁵Докторант, ⁶PhD, и.о. профессора

ORCID

¹<https://orcid.org/0000-0002-6310-2501> ²<https://orcid.org/0000-0001-6118-5238>
³<https://orcid.org/0000-0003-3784-8657> ⁴<https://orcid.org/0009-0005-6986-483X>
⁵<https://orcid.org/0000-0003-4885-1632> ⁶<https://orcid.org/0000-0003-1680-5287>



^{1,2,3,6}Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева,
Астана, Казахстан

⁴Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт,
Астана, Казахстан

⁵Карагандинский технический университет им. А. Сагинова,
Караганда, Казахстан



¹zaaskarovna@gmail.com

<https://doi.org/10.55956/VCZA6932>

ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАТОРОВ НА СВОЙСТВА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ КАЗАХСТАНА

Аннотация. Развитие дорожной инфраструктуры обуславливает уровень экономического и социального развития страны. Научный подход авторов к изучению и решению качества дорожных покрытий предполагает улучшение свойств асфальтобетона путем модификации смеси. В данном исследовании анализируются различные виды модификаторов для асфальтобетона, используемого в строительстве дорожных покрытий в Казахстане. Выбор модификаторов проведен на основе экологического решения производства добавок на основе переработанного пластика, полимеров и резиновой крошки, полученной из отходов автомобильных шин. Особое внимание уделяется методам оценки свойств модифицированных смесей. Также проводится анализ результатов физико-механических испытаний различных образцов с модификаторами в лабораторных условиях. Выводы об условиях применения рассмотренных модификаторов получены на основании результатов исследования. В общем, статья подчеркивает важность применения модифицированного асфальтобетона для повышения безопасности и эффективности движения транспорта по дорогам Казахстана.

Ключевые слова: асфальтобетонные смеси, дорожное покрытие, модификатор, резиновая крошка, битум.



Жумагулова, А.А. Влияние модификаторов на свойства асфальтобетонных смесей для дорожных покрытий Казахстана [Текст] / А.А. Жумагулова, Д.С. Дюсембинов, Е.Е. Сабитов, А.М. Алишинбаева, А.А. Бакирбаева, Ж.А. Шахмов // Механика и технологии / Научный журнал. – 2024. – №2(84). – С.207-217.
<https://doi.org/10.55956/VCZA6932>

Введение. Строительство асфальтобетонных дорог является важным компонентом развития транспортной инфраструктуры страны. Хорошо

развитая сеть дорог способствует экономическому росту, улучшению доступности к местам и повышению конкурентоспособности экономики в целом [1]. Асфальтобетонные дороги играют ключевую роль в развитии отдаленных и малонаселенных регионов Казахстана. Обеспечение доступности транспортной инфраструктуры в этих районах способствует экономическому и социальному развитию, помогая преодолевать проблемы изоляции и недостатка доступа к услугам. Качественные дороги ускоряют транспортные потоки, что способствует экономии времени и топлива. Несмотря на все достоинства применения асфальтобетонных дорог, их строительство сопряжено с рядом проблем, связанными с качеством сырьевых ресурсов и технологий, которые определяют дальнейшие физико-механические и технические характеристики дорожных покрытий. Нередко возникают проблемы из-за низкого качества строительства асфальтобетонных дорог, такие как неровности, неправильное уплотнение, неравномерное распределение материалов и другие дефекты, которые приводят к быстрому износу и сокращению срока службы дорожного покрытия. В регионах с экстремальными климатическими условиями, такими как сильные морозы зимой и высокие температуры летом, асфальтобетонные дороги сталкиваются с дополнительными вызовами. Это включает изменения объема материалов из-за температурных колебаний, появление трещин из-за замерзания и оттаивания, а также повышенный износ под воздействием агрессивных погодных условий. Отечественные ученые внесли значительный вклад в развитие и усовершенствование состава асфальтобетонного покрытия, представляя инновационные подходы и технологии [2,3]. Исследователями Института проблем горения было изучено влияние добавления резиновой крошки на процесс окисления вакуумного остатка и свойства получаемых резинобитумных вяжущих [4]. Полученное ими резинобитумное вяжущее характеризуется высокой эластичностью и низкой точкой Фрааса. Комплексный модуль сдвига образцов уменьшился с повышением температуры. Кратковременное старение привело к увеличению модуля сдвига для всех образцов. Совместные исследования зарубежных и отечественных ученых были посвящены возможности использования органических отходов, состоящих из жирных кислот, среднемолекулярных углеводов и целлюлозы, для улучшения свойств битума [5]. Было установлено, что они могут быть применимы в качестве вязкотекучего агента, либо наполнителя.

В результате проведения обзора научных исследований зарубежных и казахстанских ученых в области дорожных материалов было установлено, что одной из основных проблем производимых дорожных покрытий является качество битумных вяжущих. Для повышения характеристик битума вводятся различные модификаторы. В зависимости от состава и способа введения в смесь модификаторы стабилизируют либо повышают определенные характеристики асфальтобетона.

Целью данной статьи является изучение влияния модификаторов на основе полимеров, переработанного пластика и резинового порошка на физико-механические показатели асфальтобетонной смеси. Выбранные модификаторы различаются между собой по технологии производства, составу и способу применению. Анализ зарегистрированных дорожно-строительных материалов в реестре новых технологий АО «КазДорНИИ» показал, что основными действующими компонентами представленных

модификаторов являются полимеры и продукты вторичной переработки (пластик, резиновая крошка).

Модифицированные резиновые компоненты помогают снизить температурную чувствительность асфальтобетона, увеличить его упругость и снизить вероятность образования трещин. Добавка модификаторов на основе переработанного пластика позволяет улучшить механические свойства асфальтобетонных смесей, такие как прочность, устойчивость к трещинам и износостойкость. Важным аспектом применения модификаторов на основе переработанного пластика является их технологическая совместимость с другими компонентами асфальтобетонных смесей. Полимерные добавки применяются для улучшения гибкости, прочности и устойчивости к трещинам асфальтобетонных смесей. Они способствуют улучшению сцепления асфальтобетона с направляющей. В данной статье представлены выводы экспериментальных исследований, касающиеся использования модификаторов, включающих активированный резиновый порошок, пластик и полимеры в составе асфальтобетонной смеси.

Условия и методы исследования. Для оценки эффективности применения модификаторов были изготовлены образцы асфальтобетона с добавками на основе резинового порошка (М1), переработанного пластика (М2) и полимеров (М3). Основные физико-механические показатели определялись в соответствии с требованиями национальных стандартов СТ РК 2373-2019, СТ РК 1218-2003 [6,7]. Испытания проводились в аккредитованной лаборатории АО «КазДорНИИ».

Для определения показателя водонасыщения образцы были помещены в сосуде с водой ($t=20\pm 2^\circ\text{C}$) в вакуумную установку. Испытание проводилось в специальных условиях с соблюдением режима давления. После извлечения образцы взвешиваются в воде и на воздухе. За результат испытания принимается среднее значение трех определений. На рисунке 1 показано взвешивание образцов на воздухе для дальнейшего расчета водопоглощения.



Рис. 1. Взвешивание подготовленных образцов на воздухе

Для вычисления предела прочности при сжатии предварительно подготовленные образцы термостатируют при температуре $20\pm 2^\circ\text{C}$ и $50\pm 2^\circ\text{C}$

в течение двух часов. Далее проводится испытание на гидравлическом прессе, показанном на рисунке 2. За результат испытания принимается среднее значение трех образцов.



Рис. 2. Определение предела прочности

Метод определения прочности при расколе образцов асфальтобетона, известный как метод разрушения при трехточечном изгибе (также называемый метод Маршалла), является одним из основных методов испытания для оценки прочностных характеристик асфальтобетонных смесей. Образец укладывается на две опоры, разнесенные на определенное расстояние друг от друга, и затем на него нагружается сила в середине образца. Испытание показано на рисунке 3.



Рис. 3. Испытание прочности при расколе

Это создает изгибающий момент, который вызывает разрушение образца. Результатом испытания принимается среднее арифметическое значение трех испытаний. Определение сдвигоустойчивости образцов асфальтобетона по методу Маршалла является одним из стандартных испытаний, проводимых для оценки характеристик асфальтобетонных смесей. Данный метод широко используется в дорожном строительстве и предоставляет ценную информацию о сдвигоустойчивости асфальтобетона, что позволяет инженерам и проектировщикам принимать решения о выборе оптимальных составов смесей и обеспечении долговечности дорожных покрытий.

Образцы асфальтобетона приготавливаются путем компактации смеси в стандартные цилиндрические формы при определенной температуре и влажности. После термической обработки образцы подвергаются нагрузке с помощью цилиндрического плунжера диаметром 50,8 мм и скоростью нагрузки 50,8 мм/мин. Нагрузка на образец увеличивается до тех пор, пока не произойдет разрушение или сдвиг. Нагружение образцов показано на рисунке 4.



Рис. 4. Проведение испытания на сдвигоустойчивость образцов

Итоговые показатели коэффициента внутреннего трения и сцепления при сдвиге рассчитываются по итогам испытаний трех образцов.

Результаты исследований. Водонасыщение является важным показателем, поскольку оно может влиять на прочность и долговечность дорожного покрытия, особенно в условиях влажности и неблагоприятной среды. Результаты определения водонасыщения образцов асфальтобетона приведены на рисунке 5.

Полученные результаты свидетельствуют об одинаковом уровне водонасыщения всех образцов. Для анализа эффективности применения модификаторов следует провести анализ по другим проведенным испытаниям.



Рис. 5. Показатели водонасыщения образцов асфальтобетона

Показатель прочности при сжатии важен для оценки механических характеристик асфальтобетонного покрытия и его способности выдерживать нагрузки, такие как движение транспортных средств и нагрузки от окружающей среды. Результаты испытания приведены на рисунке 6.

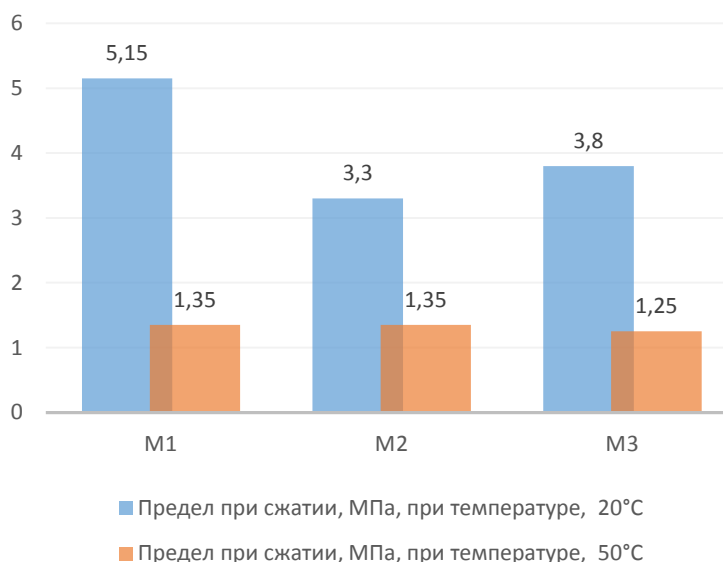


Рис. 6. Показатели прочности при сжатии образцов

Как следует из проведенных исследований, образцы с применением добавок на основе резинового порошка показали лучшие результаты по сравнению с образцами на основе переработанного пластика и полимера при $t=20^{\circ}\text{C}$ и $t=50^{\circ}\text{C}$. Асфальтобетон с добавлением полимера показал прочность при сжатии выше, чем у образца с добавлением переработанного пластика при $t=20^{\circ}\text{C}$. Однако при $t=50^{\circ}\text{C}$ значение получено ниже. Таким образом, при динамических нагрузках на дорожное покрытие асфальтобетон с применением резинового порошка более устойчив по сравнению с образцами на основе переработанного пластика и полимера. С свою очередь, модификатор на основе переработанного пластика показал большую эффективность, чем полимерная добавка. Полученные данные прочности при

расколе используются для оценки качества асфальтобетонной смеси, ее способности выдерживать нагрузки и предотвращать разрушение при изгибе. Результаты испытания приведены на рисунке 7.

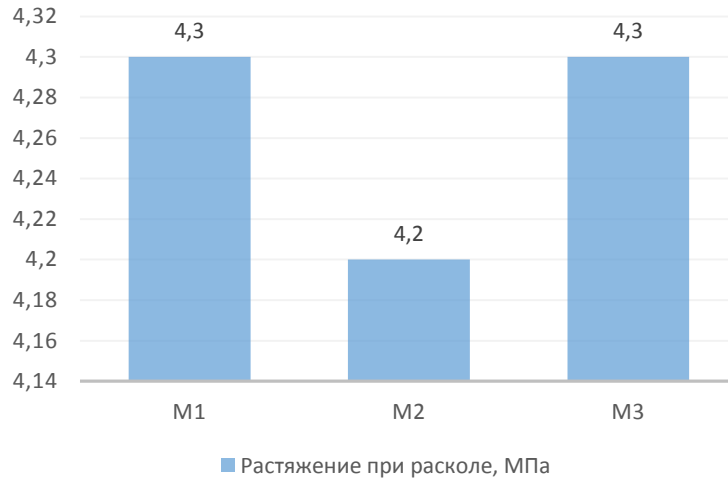


Рис. 7. Данные прочности образцов при расколе

Согласно полученным данным, образцы асфальтобетона, модифицированные добавками на основе резинового порошка и полимера, одинаково работают на изгиб, показатели соответствуют требованиям нормативов. Образец с применением переработанного пластика показал прочность ниже, чем у M1 и M3, но тем не менее находится в пределах нормативных. Таким образом, все три образца показали достаточную эффективность использования их в асфальтобетоне по результатам данного испытания.

Исследование образцов на сдвигоустойчивость проводилось для оценки способности асфальтобетона сохранять свою форму и структуру при динамических нагрузках, таких как движение транспортных средств или тепловые расширения. Результаты показаны на рисунке 8.

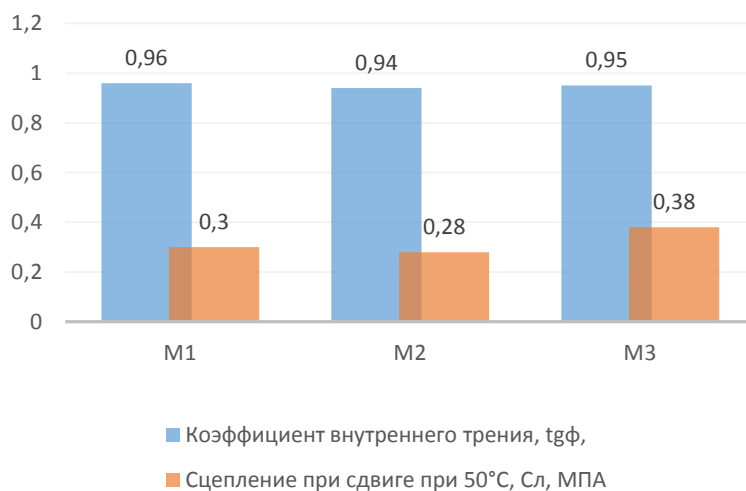


Рис. 8. Показатели сдвигоустойчивости образцов асфальтобетона

Образец М1 имеет высокий коэффициент внутреннего трения и среднее значение сцепления при сдвиге. Высокий $\text{tg}\varphi$ указывает на хорошую внутреннюю сцепляемость частиц асфальтобетона, что может способствовать его стабильности и устойчивости при нагрузках. Однако относительно низкое значение сцепления при сдвиге может снижать общую эффективность сопротивления сдвигу. Образец М2 также характеризуется высоким коэффициентом внутреннего трения, что указывает на хорошую сцепляемость. Однако его значение сцепления при сдвиге ниже, чем у образца М1, что указывает на менее эффективное сопротивление сдвигу. Образец М3 имеет средний коэффициент внутреннего трения и самое высокое значение сцепления при сдвиге среди всех трех образцов. Это указывает на то, что он обладает хорошей способностью сопротивляться сдвигу при повышенной температуре.

Обсуждение научных результатов. Испытания асфальтобетона на водопоглощение, предел прочности при сжатии и расколе, а также определение сдвигоустойчивости являются важными процедурами, используемыми для оценки качества и характеристик асфальтобетонных материалов. Исследования проводились для оценки влияния модифицирующих добавок на основные показатели физико-технических свойств асфальтобетона. На основании полученных результатов можно заключить следующее:

1. Образец асфальтобетона с добавкой на основе резинового порошка (М1) обладает высокой прочностью при сжатии при нормальных температурных условиях (20°C), что обуславливает его выбор для использования в дорожных покрытиях в холодных климатических зонах. Однако его сниженная прочность при повышенных температурах (50°C) может привести к возможным проблемам при эксплуатации в жарких регионах. Возможной причиной может стать то, что при повышении температуры резиновые полимеры становятся менее вязкими и менее упругими, что приводит к их размягчению. Резиновая крошка становится более склонной к пластическим деформациям и менее устойчивой к сдвиговым нагрузкам.

2. Образец материала с добавлением модификатора из переработанного пластика (М2) обладает меньшей прочностью при сжатии по сравнению с М1, что может означать, что он предназначен для менее интенсивно нагруженных участков дорог или для применения в более мягких климатических условиях. Снижение прочности асфальтобетона может быть обусловлено ухудшением адгезии между битумом и минеральными заполнителями за счет изменения химического состава асфальтобетона. Данный показатель может нивелироваться контролем состава сырьевых компонентов модификатора. Тем не менее, показатель прочности при сжатии при температуре 50°C выше, чем у образца М3, и соответствует нормативному показателю СТ РК 2373 (не менее 1,0 МПа). В целом, эффективность пластиковой добавки в асфальтобетоне может зависеть от множества факторов, включая тип пластика, его концентрацию, способ добавления и процесс смешивания.

3. Модифицированный полимерной добавкой асфальтобетон (М3) обладает прочностью при сжатии, близкой к образцу М2, но имеет более высокое сцепление при сдвиге при повышенных температурах. Полимеры в составе асфальтобетона способствуют повышению адгезии битума с минеральной частью, обеспечивая более прочную и устойчивую связь.

Наиболее высокий показатель сдвигоустойчивости образца М3 по сравнению с другими двумя свидетельствует о положительном влиянии полимерных компонентов на структурообразование материала, улучшая его сопротивление к образованию трещин под воздействием повтряющихся нагрузок. Это может сделать асфальтобетон более подходящим для использования в регионах с высокими летними температурами, где важно обеспечить хорошую устойчивость покрытия при высоких нагрузках. При использовании данного модификатора необходимо учитывать требования проекта и условия эксплуатации.

Закключение. В контексте дорожного строительства, где долговечность, устойчивость к разрушениям и водопроницаемость играют ключевую роль, результаты испытаний указывают на потенциал использования добавок М1, М2 и М3 для улучшения качества асфальтобетона. Важно отметить, что хотя добавка на основе резиновой крошки продемонстрировала лучшие прочностные характеристики при испытаниях на сжатие при нормальной и повышенной температуре, модификаторы из переработанного пластика и полимера также проявили высокую трещиностойкость и устойчивость к деформации, что указывает на их потенциал в улучшении долговечности и надежности дорожных покрытий. Дополнительные исследования могут включать анализ влияния данных добавок на устойчивость к воздействию агрессивных сред, долговечность в условиях интенсивного транспортного движения и устойчивость к воздействию атмосферных условий. Также необходимо оценить экономическую целесообразность использования каждой из добавок с учетом их стоимости и потенциальных экологических выгод. В целом, результаты испытаний модификаторов асфальтобетона свидетельствуют об их потенциале для повышения качества асфальтобетонных смесей и улучшения характеристик дорожных покрытий. Однако для более полного понимания их эффективности и применимости необходимо дополнительное исследование и анализ в различных условиях эксплуатации.

Список литературы

1. Послание Главы государства Касым-Жомарта Токаева народу Казахстана «Экономический курс Справедливого Казахстана». 2023. [?].
2. Teltayev B.B., Iskakbayev A.I., Abu B.D. Steady-state deformation of asphalt concrete // Construction and Building Materials, 2022. Vol. 349. P. 128754.
3. Aitkaliyeva G.S., Yelubay M.A., Ismailova A.B., Yerzhanova D.S., Massakbayeva S.R. Polymeric modifiers for bituminous binders // Bulletin of Kazakh Leading Academy of Architecture and Construction, 2022. Vol. 83, No. 1. P. 98-106.
4. Zhambolova A., Ongarbayev Y., Tileuberdi Y., Teltayev B. Oxidation of Vacuum Residue with the Addition of Crumb Rubber // Eurasian Chemico-Technological Journal, 2022. Vol. 24, No. 1. P. 21-32.
5. Caputo P., Porto M., Loise V., Abe A., Teltayev B., Calandra P., Rossi C.O. How Organic Waste Improves Bitumen's Characteristics // Eurasian Chemico-Technological Journal, 2021. Vol. 23. No. 3. P. 227-233.
6. СТ РК 2373-2019. Смеси щебеночно-мастичные полимерасфальтобетонные дорожные, аэродромные и щебеночно-мастичный полимерасфальтобетон. Технические условия [Текст]. – Введ. 2019-09-27. – Нур-Султан: Госстандарт, 2019. – 13 с.
7. СТ РК 1218-2003. Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний [Текст]. – Введ. 2005-01-01. – Астана: Госстандарт, 2004. – 60 с.

Материал поступил в редакцию 24.04.24.

А.А. Жумагулова¹, Д.С. Дюсембинов¹, Е.Е. Сабитов¹,
А.М. Алшинбаева², А.А. Бакирбаева³, Ж.А. Шахмов¹

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан

²Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты, Астана қ., Қазақстан

³А. Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті,
Қарағанды қ., Қазақстан

МОДИФИКАТОРЛАРДЫҢ ҚАЗАҚСТАННЫҢ ЖОЛ ЖАБЫНДАРЫ ҮШІН АСФАЛЬТБЕТОН ҚОСПАЛАРЫНЫҢ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ӘСЕРІ

Аңдатпа. Жол инфрақұрылымының дамуы елдің экономикалық және әлеуметтік даму деңгейін анықтайды. Авторлардың ғылыми көзқарасы жол жабындарының сапасын зерттеуге және шешуге қоспаны өзгерту арқылы асфальтбетонның қасиеттерін жақсартуды көздейді. Бұл зерттеуде Қазақстанда жол жабындарын салуда қолданылатын асфальтбетонға арналған модификаторлардың әртүрлі түрлері талданады. Модификаторларды таңдау автомобиль шиналарының қалдықтарынан алынған қайта өңделген резеңке үгіндісі, пластик және полимерлер негізінде қоспалар өндірісінің экологиялық шешімі негізінде жүзеге асырылады. Модификацияланған қоспалардың қасиеттерін бағалау әдістеріне ерекше назар аударылады. Сондай-ақ, зертханалық жағдайда модификаторлары бар әртүрлі үлгілердің физика-механикалық сынақтарының нәтижелеріне талдау жасалады. Қарастырылған модификаторларды қолдану шарттары туралы қорытындылар зерттеу нәтижелері негізінде алынды. Жалпы, мақала Қазақстан жолдарында көлік қозғалысының қауіпсіздігі мен тиімділігін арттыру үшін модификацияланған асфальтбетонды қолданудың маңыздылығын атап көрсетеді.

Тірек сөздер: асфальтбетон қоспалары, жол жабыны, модификатор, резеңке үгіндісі, битум.

А.А. Zhumagulova¹, D.S. Dyusseminov¹, E.E. Sabitov¹,
A.M. Alshinbayeva², A.A. Bakirbayeva³, Zh.A. Shakhmov¹

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

²Kazakhstan Road Research Institute, Astana, Kazakhstan

³A. Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

INFLUENCE OF MODIFIERS ON THE PROPERTIES OF ASPHALT CONCRETE MIXTURES FOR ROAD PAVEMENTS IN KAZAKHSTAN

Abstract. The development of road infrastructure determines the level of economic and social development of the country. The authors' scientific approach to studying and solving the quality of road surfaces involves improving the properties of asphalt concrete by modifying the mixture. This study analyzes different types of modifiers for asphalt concrete used in the construction of road pavements in Kazakhstan. The choice of modifiers was made on the basis of an environmentally friendly solution for the production of additives based on recycled plastic, polymers and crumb rubber obtained from waste car tires. Particular attention is paid to methods for assessing the properties of modified mixtures. An analysis of the results of physical and mechanical tests of various samples with modifiers in laboratory conditions is also carried out. Conclusions about the conditions for using the considered modifiers were obtained based on the results of the study. In general, the article emphasizes the importance of using modified asphalt concrete to improve the safety and efficiency of traffic on the roads of Kazakhstan.

Keywords: asphalt concrete mixtures, road pavement, modifier, crumb rubber, bitumen.

References

1. Poslaniye Glavy gosudarstva Kasym-Zhomarta Tokayeva narodu Kazakhstana «Ekonomicheskiy kurs Spravedlivogo Kazakhstana» [Message from the Head of State Kassym-Jomart Tokayev to the people of Kazakhstan “Economic course of a Just Kazakhstan”], 2023, [in Russian].
2. Teltayev B.B., Iskakbayev A.I., Abu B.D. Steady-state deformation of asphalt concrete // Construction and Building Materials, 2022. Vol. 349. P. 128754.
3. Aitkaliyeva G.S., Yelubay M.A., Ismailova A.B., Yerzhanova D.S., Massakbayeva S.R. Polymeric modifiers for bituminous binders // Bulletin of Kazakh Leading Academy of Architecture and Construction, 2022. Vol. 83, No. 1. P. 98-106.
4. Zhambolova A., Ongarbayev Y., Tileuberdi Y., Teltayev B. Oxidation of Vacuum Residue with the Addition of Crumb Rubber // Eurasian Chemico-Technological Journal, 2022. Vol. 24, No. 1. P. 21-32.
5. Caputo P., Porto M., Loise V., Abe A., Teltayev B., Calandra P., Rossi C.O. How Organic Waste Improves Bitumen’s Characteristics // Eurasian Chemico-Technological Journal, 2021. Vol. 23. No. 3. P. 227-233.
6. ST RK 2373-2019. Smesi shchebenochno-mastichnyye polimerasfal'tobetonnyye dorozhnyye, aerodromnyye i shchebenochno-mastichnyy polimerasfal'tobeton. Tekhnicheskiye usloviya [Mixtures of crushed stone-mastic polymer-asphalt concrete for road, airfield and crushed stone-mastic polymer-asphalt concrete]. – Introduced. 2019-09-27. – Nur-Sultan: Gosstandart, 2019. – 13 p., [in Russian].
7. ST RK 1218-2003. Materialy na osnove organicheskikh vyazhushchikh dlya dorozhnogo i aerodromnogo stroitel'stva. Metody ispytaniy [Materials based on organic binders for road and airfield construction. Test methods]. – Introduced. 2005-01-01. – Astana: Gosstandart, 2004. – 60 p., [in Russian].