



ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҚБПҚ МИНИСТРЛІГІ
МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

АВТОМОБИЛЬ ЖОЛДАРЫ КОМИТЕТІ
КОМИТЕТ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

ҚАЗАҚСТАН ЖОЛ ҒЫЛЫМ-ЗЕРТТЕУ ИНСТИТУТЫ
КАЗАХСТАНСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ

QAZJOLGZI

ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

QAZAQ HIGHWAY
SCIENCE AND INNOVATION



QAZJOLGZI

ҚАЗАҚСТАН ЖОЛ ҒЫЛЫМИ-ЗЕРТТЕУ ИНСТИТУТЫ

«ҚазжолҒЗИ» АҚ ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ АО «КаздорНИИ»

QAZAQ HIGHWAY SCIENCE AND INNOVATION

Рецензируемый журнал открытого доступа, зарегистрированный Министерством культуры и информации Республики Казахстан

Свидетельство о постановке на учет № KZ25VPY00119665 от 26.04.2024

ISSN (Online): 3105-7160

Учредитель: АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт»

Тематическая направленность: публикация научных материалов по вопросам проектирования, строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог и искусственных сооружений, а также диагностики автомобильных дорог

БАС РЕДАКТОРЫ – ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Мухамбеткалиев Кайрат Куаншкалиевич – кандидат технических наук, руководитель научного центра исследований и разработок АО «КаздорНИИ»

РЕДАКЦИЯ АЛҚАСЫ – РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Амирбаев Ерик Дихамбаевич – Вице-президент АО «КаздорНИИ»

Мухамбеткалиев Кайрат Куаншкалиевич – кандидат технических наук, руководитель научного центра исследований и разработок АО «КаздорНИИ»

Ашимова Салтанат Жандарбековна – доктор PhD, руководитель отдела ДСМиНТ Филиала АО «КаздорНИИ» г. Алматы

Тілеу Кұрманғазы Байғазыұлы – доктор PhD, руководитель управления цифровизации

Токпатаева Райхан Уалихановна - доктор PhD, старший специалист лабораторного отдела, Школа Строительной Инженерии им. Лайлс, Университет Пурдью (Purdue University)

Жумагулова Адия Аскарровна – кандидат технических наук, ассоциированный профессор, и.о. доцента кафедры «Технология промышленного и гражданского строительства», НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева»

Жумамуратов Манарбек Бахтиярұлы – младший научный сотрудник научного центра исследований и разработок АО «КаздорНИИ», ответственный секретарь

Смагулова Мария Кусаиновна – младший научный сотрудник научного центра исследований и разработок АО «КаздорНИИ», ответственный секретарь

Периодичность выхода: 4 раза в год

Адрес: Республика Казахстан, г. Астана, ул. Жекебатыр, 35

Тел.: +7 (7172) 72-98-17

E-mail: qazjolgzi@gmail.com

Сайт: <https://science-jolshy.qazjolgzi.kz/ru>

МАЗМҰНЫ – СОДЕРЖАНИЕ – CONTENTS

1.	<i>Е.Д. Амирбаев, Д.А. Алижанов, А.А. Жумагулова, Р.Е. Лукпанов, Д.С. Дюсембинов</i> ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НИЗКОЙ МАРКИ МОДИФИЦИРОВАННОГО БИТУМА В СРАВНЕНИИ С БИТУМАМИ ВЫСОКОЙ МАРКИ	4
2.	<i>Б.А. Асматулаев, Р.Б. Асматулаев, Н.Б. Асматулаев</i> САМОВОССТАНАВЛИВАЮЩИЕСЯ БЕТОНЫ С КОЛЛОИДНОЙ СТРУКТУРОЙ УПРОЧНЕНИЯ – БУДУЩЕЕ ЭКОЛОГИЧНЫХ И ДОЛГОВЕЧНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ	20
3.	<i>Zh.M. Kuanyshbayev, A.A. Ibrayeva, D.V. Kapskii</i> REGULATION OF SPARE PARTS REQUIREMENTS FOR DUMP TRUCKS	27
4.	<i>Г.Б. Умарова, Н.М. Мырзабеков, Н.Р. Бақытжанов, С.С. Кабылдина</i> ОБЗОР ИННОВАЦИОННЫХ ПОДХОДОВ К ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ КАРЬЕРНОГО АВТОТРАНСПОРТА	35
5.	<i>А.Д. Серик, А.М. Қожахмет, Ұ.А. Шангерей</i> МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН БИТУМНЫҢ ЖАСАНДЫ ҚАРТАЙҒАННАН КЕЙІНГІ ПЕНЕТРАЦИЯСЫН БАҒАЛАУ	43
6.	<i>Д.Қ. Қабдрашит, А.А. Утебаев, М.Ж. Ануарбеков</i> СОСТОЯНИЕ И РАЗВИТИЕ ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ ДОРОГ	51



ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НИЗКОЙ МАРКИ МОДИФИЦИРОВАННОГО БИТУМА В СРАВНЕНИИ С БИТУМАМИ ВЫСОКОЙ МАРКИ

Е.Д. Амирбаев ¹, Д.А.Алижанов¹, А.А. Жумагулова^{1,2*}, Р.Е.Лукпанов ²,
Д.С. Дюсембинов ²

¹АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт»

²НАО «Евразийский университет имени Л.Н. Гумилева»

*Корреспондент автор: adiya_kokbe@mail.ru

Аннотация. Для обеспечения долговечности асфальтобетонных покрытий в зависимости от климатической зоны используются различные марки битума: для более жарких южных регионов применяются битумы марок 70/100 и ниже, а для более холодных северных - 100/130 [1]. Однако битум, вследствие воздействия температур и солнечной радиации, подвержен старению, что снижает его эластичность, адгезию и устойчивость к деформациям [2]. Целью исследования является анализ влияния модифицирующей добавки на свойства битума низкой марки и сопоставлении полученных результатов с характеристиками битума более высокой марки. Испытания проведены на образцах битума марок М 50/70 и М 70/100 различных производителей. Было проведено ускоренное старение образцов битума в камере RTFOT, имитируя условия естественного старения. После состаривания битума были определены такие показатели, как температура размягчения, динамическая вязкость, температура вспышки и хрупкость. Согласно результатам измерений температуры размягчения, образцы битума низкой марки (Тип 1) до модификации показали устойчивые значения, составили 51.2 °С, а после модификации 68.6 °С. Показатели коэффициентов возрастания динамической вязкости не превышают предельно допустимого значения марок 50/70 и 70/100 – не более 2.5. Измерение значений температур вспышки превышают предельно допустимое значение для марок 50/70 и 70/100 – 230 °С. Температура хрупкости после модификации, также не соответствует требованиям высоких марок, однако, в частных случаях ниже некоторых средних значений хрупкости высоких марок [3]. Таким образом, включение в состав битума низкой марки модификатора не оказывает негативного влияния на ухудшение его температурных показателей, более того, в частных случаях показывает результат выше, чем у битума более высокой марки.

Ключевые слова: битум, температура размягчения битума, пластичность, температура вспышки битума.

Введение

Климат Казахстана отличается суровыми условиями, которые существенно воздействуют на состояние асфальтобетонных дорог [4]. Страна сталкивается с резкими температурными колебаниями, включая сезонное замерзание и оттаивание, высокие летние температуры, а также значительными ветровыми и осадочными нагрузками. Эти факторы ускоряют процессы разрушения дорожных покрытий, способствуют образованию трещин, выбоин, а также колееобразованию, что снижает комфорт и безопасность дорожного движения [5].

Асфальтобетонные покрытия должны выдерживать интенсивные температурные перепады, сохраняя свои эксплуатационные характеристики в условиях как высоких летних температур, так и суровых зимних морозов [6]. Особенно остро эта проблема стоит в северных регионах Казахстана, где низкие температуры и продолжительные морозы повышают риск образования трещин на поверхности дорог, что ускоряет износ и сокращает срок службы покрытия [7]. В то же время в южных регионах страны, где летом температура может достигать 50 °С, происходит значительный нагрев дорожного полотна, что может приводить к размягчению битума и деформации асфальта. Таким образом, для обеспечения долговечности дорожного покрытия необходимо использовать различные марки битума в зависимости от климатических условий региона: например, марка 70/100 применяется для южных областей, а 100/130 - для северных, что помогает продлить срок службы дорог [8].

Битумное вяжущее вещество играет важнейшую роль в качестве и долговечности асфальтобетонных покрытий, однако его физико-механические свойства подвержены значительным изменениям под воздействием температурных нагрузок, ультрафиолетового излучения и механических воздействий. Одной из основных проблем, возникающих при эксплуатации автомобильных дорог, является старение битума, которое со временем ухудшает его эластичность, адгезионные свойства и устойчивость к деформациям, что негативно сказывается на долговечности покрытия [9]. Это особенно актуально в условиях экстремального климата Казахстана, где воздействия агрессивных природных факторов значительно ускоряют процесс старения битумного связующего [10].

В связи с этим в последние годы внимание исследователей и производителей дорожных материалов сосредоточено на разработке и использовании модифицирующих добавок, которые способны улучшить свойства битума и повысить его устойчивость к старению. Применение таких добавок позволяет сохранить пластичность и прочность битума, повысить его устойчивость к низким и высоким температурам, а также к воздействию ультрафиолета [11]. Для оценки влияния модификаторов на битум используются различные методы испытаний, такие как определение температуры размягчения, динамической вязкости, температуры вспышки и хрупкости. Эти испытания позволяют более точно прогнозировать долговечность дорожных покрытий и качество применяемых материалов [12]. Таким образом, улучшение свойств битума за счёт модификации становится важной задачей для повышения качества и срока службы асфальтобетонных дорог в условиях сложного климата Казахстана.

Цель данного исследования заключается в анализе влияния модифицирующей добавки на свойства битума низкой марки и сопоставлении полученных результатов с характеристиками битума более высокой марки. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Провести ускоренное старение образцов битума в камере RTFOT, имитируя условия естественного старения.
2. Оценить изменения температуры размягчения, динамической вязкости, температуры вспышки и хрупкости битума до и после старения с добавлением модификатора.
3. Сравнить результаты испытаний модифицированного и немодифицированного битума.
4. Определить эффективность добавки в повышении стойкости битума к старению.
5. Сделать выводы о применимости модифицирующих добавок для увеличения долговечности битумных материалов в дорожном строительстве.

Методология

Исследования по подбору состава модифицированного битума проводились в следующем порядке:

- Изучение физико-механических свойств битума марки 50/70.

- Изучение физико-механических свойств битума марки 70/100.
- Определение оптимального состава модифицирующей добавки.

Испытания проведены на образцах битума марок М 50/70 и М 70/100 различных производителей. Поскольку целью исследования являлась модификация битума марки М 50/70 для достижения характеристик, схожих с показателями битума марки М 70/100, все анализы проводились в сравнении свойств битумов марки М 50/70 и М 70/100 как до, так и после модификации. В таблице 1 представлены данные о типах сравниваемых образцов и их производителях. В целях сохранения конфиденциальности информации о производителях, их названия были условно обозначены буквами. Для каждого типа битума по каждому показателю было выполнено не менее пяти измерений, что обеспечивает относительную точность результатов с учетом возможных статистических отклонений [13].

Таблица 1 - Типы сравниваемых образцов битумного вяжущего

Тип образца	Марка битума	Производитель
Тип 1	БНД 50/70	ТОО «А»
Тип 2	БНД 70/100	ТОО «А»
Тип 3	БНД 70/100	ТОО «В»
Тип 4	БНД 70/100	ТОО «С»
Тип 5	БНД 70/100	ТОО «D»
Тип 6	БНД 70/100	ТОО «Е»
Тип 7	БНД 70/100	ТОО «F»
Тип 8	БНД 70/100	ТОО «G»
Тип 9	БНД 50/70 модифицированный	ТОО «А»

Испытания для определения точки размягчения выполнены по стандартному методу «кольцо и шар» согласно СТ РК 1227-2003. Целью испытания являлось выявить температуру, при которой битум, находящийся в кольце стандартного размера, размягчается и под действием стального шарика проходит расстояние $25,0 \pm 0,4$ мм. Для каждого типа битума было проведено не менее пяти измерений для получения статистически значимых результатов. Пределы допустимой погрешности установлены следующим образом: при температуре размягчения до $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ допустимое отклонение составляет $2\text{ }^{\circ}\text{C}$; свыше $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ [14].

Определение динамической вязкости выполнено стандартным методом согласно СТ РК 1211-2003. Цель испытания — установить зависимость скорости сдвига от напряжения сдвига. Измерения проводились в вискозиметре с вакуумными капиллярами при температуре $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, фиксируя время прохождения битума через капилляры под вакуумом [15]. Для каждого типа битума выполнено не менее пяти измерений для статистической обработки результатов. Допустимое расхождение между значениями - не более 10%.

Определение температуры вспышки проведено стандартным методом по СТ РК 1804-2008. Целью испытания было установление минимальной температуры воспламенения паров битума в воздушной среде при атмосферном давлении [16]. Для каждого типа битума выполнено не менее пяти измерений для статистической оценки результатов, с допустимым отклонением не более $17\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Температура хрупкости по Фраасу определена по стандарту СТ РК 229-2003. Этот показатель характеризует степень хрупкости битума при низких температурах. Цель испытания - определить температуру, при которой происходит нарушение целостности битумной пленки под нагрузкой [17]. Для каждого типа битума выполнено не менее пяти измерений для получения статистически достоверных результатов, при допустимом отклонении между значениями не более $6\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Повторные испытания для оценки изменений физико-механических свойств битума были проведены после его старения в камере RTFOT, согласно стандартной методике СТ РК 1224-2023. В процессе старения битума в камере создается постоянное обновление его

пленки путем нагрева воздушными потоками в вращающейся колбе при температуре $163 \pm 1^\circ\text{C}$ в течение 75 ± 1 минут. Частота вращения барабана составляла $0,25 \pm 0,003 \text{ c}^{-1}$ ($15,0 \pm 0,2$ об/мин), а подача воздуха осуществлялась с расходом 4000 ± 200 мл/мин [18]. Количество образцов и допустимые погрешности были аналогичны испытаниям, проведенным для оценки исходных характеристик.

Результаты испытаний

Определение температуры размягчения

На рисунках 1 - 4 представлены средние значения температур размягчения исследуемых типов образцов. Кривые диаграммы рисунка 1 показывают начальные температуры размягчений и остаточные после состаривания образцов RTFOT. Прямые диаграммы рисунка 1 показывают предельно допустимые показатели температур размягчения битумов марок 50/70 и 70/100.

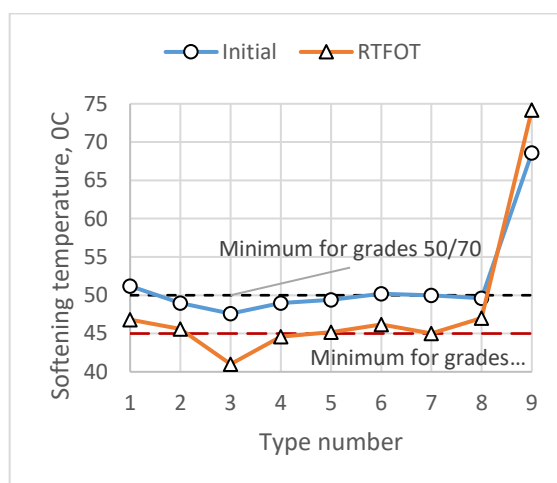


Рисунок 1 - Предельно допустимые показатели температур размягчения битумов марок 50/70 и 70/100

На рисунке 2 показаны изменения температур размягчений после состаривания образцов. На рисунке 3 и 4 показаны коэффициенты вариаций частных значений температур размягчений до и после состаривания 5 образцов каждого типа соответственно. Для визуализации образцы до и после состаривания условно объединены линиями, которые не означают связь или закономерность data points, а определяют принадлежность результатов к конкретной серии испытаний.

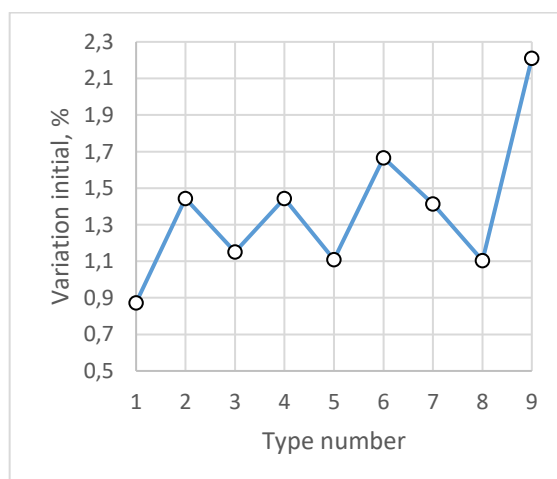
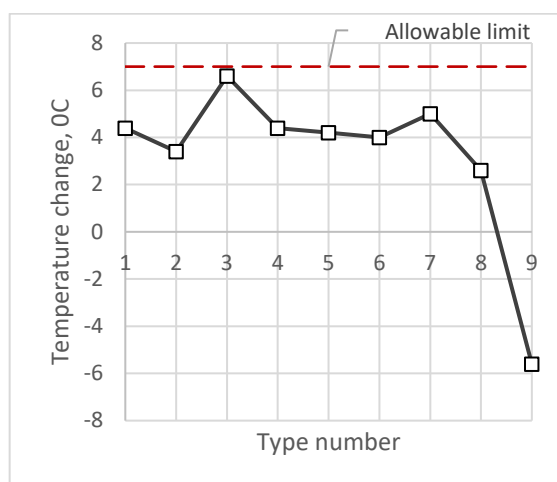
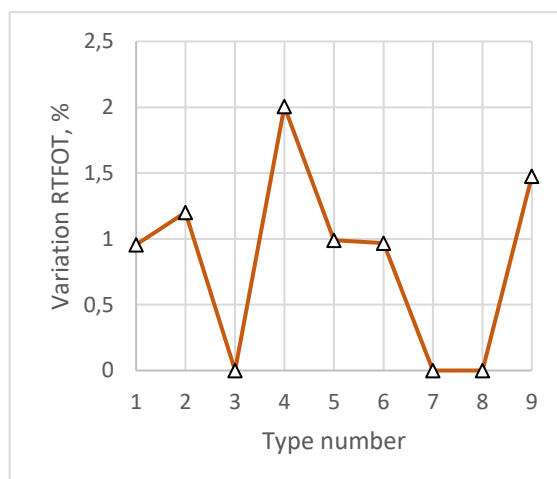


Рисунок 2 - Изменения температур размягчений после состаривания образцов**Рисунок 3 - Коэффициент вариаций частных значений температур размягчений до состаривания****Рисунок 4 - Коэффициент вариаций частных значений температур размягчений после состаривания**

Согласно полученным результатам, начальная температура размягчения для битумов низкой марки в среднем составляет 51.2 °С, что соответствует требованиям, предъявляемым к маркам 50/70 – не ниже 50 °С. Средние начальные значения температуры размягчения битумов высокой марки варьируются от 47.6 до 50.2 °С, что также соответствует требованиям, предъявляемым к маркам 70/100 – не ниже 45 °С. Максимальные значения температур размягчения выявлены у образцов типа 6 и 7, составляют 50.0 и 50.2 °С соответственно. Средние значения у образцов типа 2, 4, 5 и 8, составляют 49.0, 49.0, 49.4, 49.6 °С соответственно. Самые низкие значения показали образцы типа 3 – 47.6 °С. Образцы модифицированного битума показали высокие значения температуры размягчения, варьирующиеся от 68 до 71 °С, а среднее – 68.6 °С. Повышение температуры прежде всего связано с наличием полимеров в составе модификатора, которые придают битуму большую жесткость. Снижение температуры размягчения после состаривания битума низкой марки в среднем составило 8.6 %, в абсолютных величинах составляет 46.8 °С. Максимальное снижение битумов высокой марки выявлено у образцов типа 3 и 7, составляет 13.9 % (41.0 °С) и 10.0 % (45.0 °С) соответственно. Средние

показатели наблюдались у образцов типа 4, 5 и 6, составили 9.0 % (44.6 °C), 8.5 % (45.2 °C) и 8.0 % (46.2 °C), соответственно. Минимальные показатели у образцов типа 2 и 8, составили 6.9 % (45.6 °C) и 5.2 % (43.6 °C), соответственно. Образцы модифицированного битума показали обратную закономерность по изменению температуры размягчения после состаривания. Показатели температуры размягчения увеличились до 74.2 °C (честные от 73 до 76 °C), что прежде всего связано с тем, что в результате испарения битума, его объемная доля по отношению к полимеру снижается, следовательно, битум становится более жестким [19]. Таким образом результаты изменений температур после состаривания образцов низких марок битума в среднем составили 4.4 %, а после модификации -5.6. Изменение температур высоких марок варьируется от 2.6 до 6.6 %. Все показатели изменений температур размягчения не превышают предельно допустимые значения марок 50/70 и 70/100 – не более 7 °C. Последнее говорит о приемлемости полученных результатов, их соответствии нормам, следовательно, пригодности для последующего анализа. Все коэффициенты вариаций частных значений исходных температур размягчений не превышают 2.2 %, а после состаривания не превышают 2.0 %. Очень низкий разброс данных говорит о высокой степени сходимости результатов измерений и статистической точности. Различие между частными значениями не превышает 2 °C, что соответствует требованиям стандарта (см. Раздел методы)

Определение динамической вязкости

На рисунках 5 - 8 представлены средние значения динамических вязкостей (вязкостей) исследуемых типов образцов. Кривые диаграммы рисунка 5 показывают начальные значения вязкостей и остаточные после их состаривания. Прямые диаграммы рисунка 5 показывают предельно допустимые показатели вязкостей битумов марок 50/70 и 70/100.

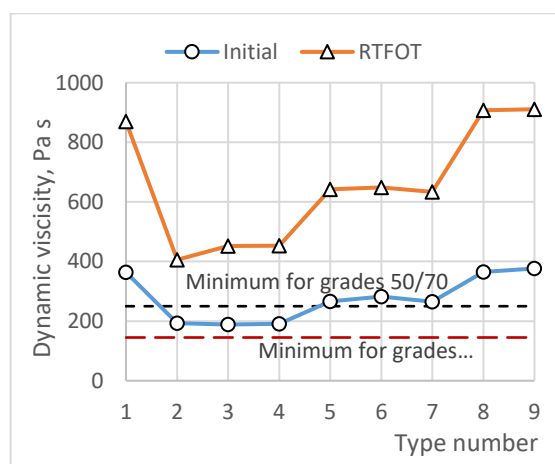


Рисунок 5 - Начальные значения вязкостей и остаточные после их состаривания

На рисунке 6 показан коэффициент возрастания динамических вязкостей, определенный как отношение показателя динамической вязкости при 60 °C после его состаривания, к исходному показателю динамической вязкости при 60 °C.

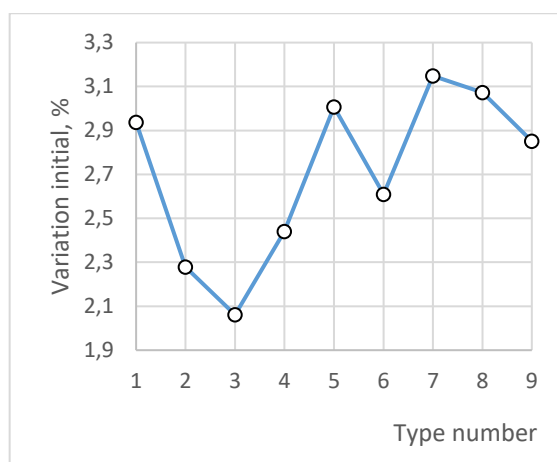


Рисунок 6 - Коэффициент возрастания динамических вязкостей

На рисунке 7 и 8 показаны коэффициенты вариаций частных значений вязкостей до и после состаривания 5 образцов каждого типа соответственно. Для визуализации образцы до и после состаривания условно объединены линиями, которые не означают связь или закономерность data points, а определяют принадлежность результатов к конкретной серии испытаний.

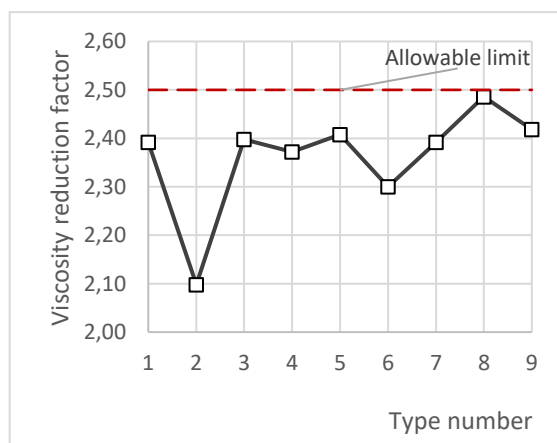


Рисунок 7 - Коэффициент вариаций частных значений вязкостей после состаривания

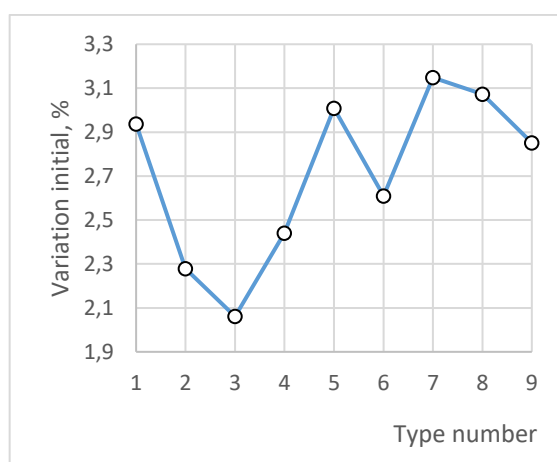


Рисунок 8 - Коэффициент вариаций частных значений вязкостей после состаривания

Согласно полученным результатам, начальная динамическая вязкость для битумов низкой марки в среднем составляет 363.7 Па·с, что соответствует требованиям, предъявляемым к маркам 50/70 – не ниже 250 Па·с. Средние начальные значения вязкостей битумов высокой марки варьируются от 188.6 до 365.0 Па·с, что также соответствует

требованиям, предъявляемым к маркам 70/100 – не ниже 145 Па·с. Максимальные значения динамической вязкости, характеризующие высокую вязкость битума, выявлены у образцов типа 8, составляют 365.0 Па·с. Средние значения вязкости у образцов типа 5, 6 и 7 составляют 266.5, 282.0 и 264.7 Па·с, соответственно. Самые низкие значения выявлены у образцов типа 2, 3 и 4, составляют 193.4, 188,6 и 191.3.6 Па·с, соответственно. Образцы модифицированного битума показали закономерное увеличение вязкости (относительно не модифицированного битума 50/70), по той же причине наличия полимеров в составе добавки, в среднем составили 376.6 Па·с (от 359 до 386 Па·с), при коэффициенте вариации 2.9%. Увеличение вязкости после состаривания битума низкой марки в среднем составило 139%, что в абсолютных величинах составляет 869.5 Па·с. Максимальное увеличение вязкости битумов высокой марки выявлено у образцов типа 8, в абсолютных величинах составляет 907.1 Па·с, а относительно исходных составляет 148 %. Средние показатели наблюдались у образцов типа 5, 6 и 7, составили 641.7 Па·с (140 %), 648.7 Па·с (130 %) и 633.2 Па·с (139 %), соответственно. Низкие показатели у образцов типа 2, 3 и 4, составили 405.9 Па·с (109 %), 452.1 Па·с (139 %) и 453.5 Па·с (137 %), соответственно. Образцы модифицированного битума после состаривания в целом показали схожую динамику изменения вязкости, что и марки битумов 50/70 и 70/100, в среднем вязкость составила 910.8 Па·с (от 854 до 948 Па·с). Полученные коэффициенты возрастания динамической вязкости после состаривания образцов низких марок битума в среднем составили 2.39, а высоких марок от 2.10 до 2.49. Коэффициент возрастания динамической вязкости после включения модификатора незначительно возрос, составил 2.42 %. Все показатели коэффициентов возрастания динамической вязкости не превышают предельно допустимого значения марок 50/70 и 70/100 – не более 2.5. Последнее говорит о приемлемости полученных результатов, их соответствии нормам, следовательно, пригодности для последующего анализа. Все коэффициенты вариаций частных значений исходных вязкостей не превышают 3.1 %, а после состаривания не превышают 3.9 %. Относительно низкий разброс данных говорит об относительно высокой степени сходимости результатов измерений и статистической точности. Различия между частными значениями не превышают 10%, что соответствует требованиям стандарта (см. Раздел методы). Говорить о каком-либо влиянии модифицированной добавки на изменения динамической вязкости, а тем более негативном, не приходится, поскольку незначительные изменения лежат в пределах статистической погрешности частных измерений и соответствуют нормативным требованиям.

Определение температуры вспышки

На рисунке 9 и 10 представлены результаты измерений температуры воспламенения образцов. На рисунке 9 показаны средние показатели 5 образцов каждого типа битума, а на рисунке 10 соответствующие им коэффициенты вариаций. Испытания были проведены только для оценки первоначальных показателей без состаривания образцов. Последнее связано с тем, что данный показатель относится к оценке содержания воспламеняемых летучих веществ, значимость которого актуальна при транспортировке и укладке битума с точки зрения пожарной безопасности. Данный показатель не существенен для оценки эксплуатационной пригодности асфальтобетона, не имеет большой значимости при долгосрочной эксплуатации дорог [20].

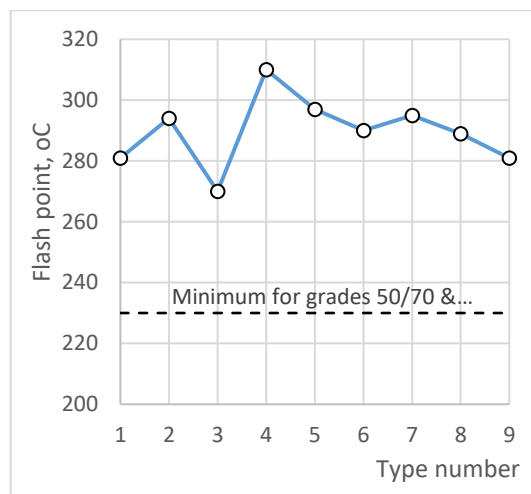


Рисунок 9 - Средние показатели температуры воспламенения для 5 образцов каждого типа битума

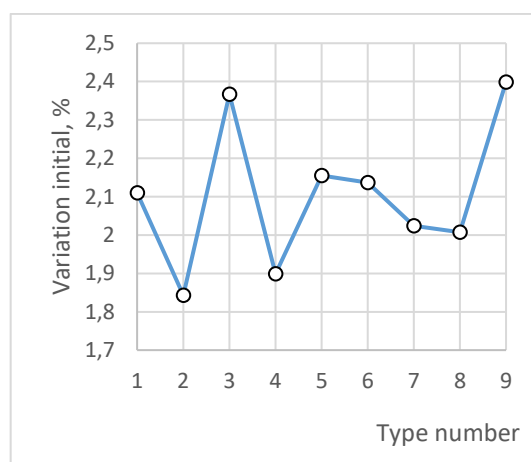


Рисунок 10 - Коэффициенты вариаций температуры воспламенения для образцов битума

Согласно полученным результатам, среднее значение температуры воспламенения образцов марки 50/70 составило 281.2 °С, частные значения лежат в диапазоне 272 – 285 °С, а коэффициент вариации составил 2.1 %. Средние значения температур вспышки образцов марки 70/100 варьируются от 271.2 до 310.2 °С, а коэффициенты вариаций не превышают 2.4%. Средний показатель температуры вспышки в разрезе всех типов образцов марки 70/100 составил 292.4 °С, при коэффициенте вариации 3.96 %. Полученные средние показатели температуры вспышки в пределах каждого образца имеют высокую степень достоверности, а средний показатель температуры вспышки в разрезе всех типов имеет высокую сходимость (о чем свидетельствуют коэффициенты вариаций). Среднее значение температуры вспышки модифицированного битума составило 281.8 °С, при коэффициенте вариации 2.4 %. Все полученные частные значения температур вспышки превышают предельно допустимое значение для марок 50/70 и 70/100 – 230 °С. Говорить о каких-либо изменениях температуры вспышки не приходится, поскольку незначительные изменения абсолютных и частных значений лежат в пределах статистической погрешности, которая оказалась не чувствительной (погрешность) к включению в состав битума новых компонентов модификатора.

Определение температуры хрупкости

На рисунке 11 и 12 представлены результаты измерений температуры хрупкости образцов. На рисунке 11 показаны средние показатели 5 образцов каждого типа битума, а

на рисунке 12 соответствующие им коэффициенты вариаций. Испытания были проведены только для оценки первоначальных показателей без состаривания образцов.

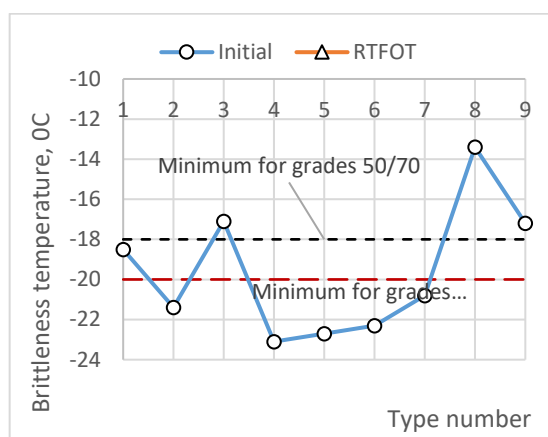


Рисунок 11 - Средние показатели температуры хрупкости для 5 образцов каждого типа битума

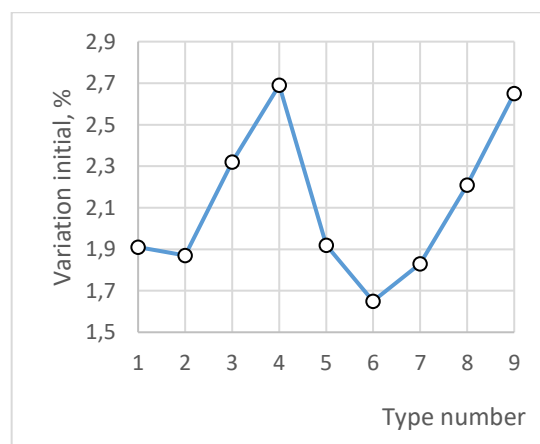


Рисунок 12 - Коэффициенты вариаций температуры хрупкости для образцов битума

Согласно результатам испытаний, среднее значение температуры хрупкости образцов марки 50/70 составило - 18.5 °С, частные значения лежат в диапазоне – (17.8 - 19.7) °С, а коэффициент вариации составил 1.9 %. Средние значения температур хрупкости образцов марки 70/100 показали большой разброс в зависимости от производителя, варьируются от - 13.4 до - 23.1 °С. Средний показатель температуры хрупкости в разрезе всех типов образцов марки 70/100 составил - 20.1 °С. Полученные средние показатели температуры вспышки в пределах каждого образца имеют высокую степень достоверности, коэффициенты вариаций не превышают 2.7 %. Средний показатель температуры вспышки в разрезе всех типов имеет низкую сходимость (о чем свидетельствует коэффициенте вариации 17.8 %). Среднее значение температуры хрупкости модифицированного битума составило - 17.2 %, при коэффициенте вариации 2.7 %. Говорить о каких-либо изменения температуры хрупкости не приходится, поскольку незначительные изменения абсолютных и частных значений лежат в пределах статистической погрешности, которая оказалась не чувствительной (погрешность) к включению в состав битума новых компонентов модификатора. Если сравнивать полученные значения с нормативными, все частные значения хрупкости образцов низкой марки соответствуют требованиям, лежат выше порогового предела – не выше - 18.0 °С. Для высоких марок битума у 2 из 7 производителей температура хрупкости не соответствует нормативным требованиям, превышает пороговый показатель – не выше - 20 °С. Температура хрупкости после модификации, так же не соответствует требованиям высоких марок, однако, в частных случаях ниже некоторых средних значений хрупкости высоких марок.

Закключение

Выполнен комплекс испытаний по оценке температурных показателей битумов разных марок и производителей. Задачей исследования было сравнение температурных показателей битумов марки 50/70 до и после модификации с показателями битумов марки 70/100. В качестве контрольных показателей были температура размягчения, воспламенения и хрупкости, а также динамическая вязкость.

Согласно результатам измерений температуры размягчения, контрольные образцы битума низкой марки (Тип 1) до модификации показали устойчивые значения, составили 51.2 °С, а после модификации 68.6 °С. Увеличение температуры размягчения прежде всего связано с наличием полимеров в составе модификатора, которые придают битуму большую жесткость [21]. Температура размягчения образцов высоких марок (Тип 2-8) в среднем составила 49.3 °С. Изменение температур высоких марок варьируется от 2.6 до 6.6 %, изменения температур после состаривания образцов низких марок битума в среднем составили 4.4 %, а после модификации - 5.6, что прежде всего связано с тем, что в результате испарения битума, его объемная доля по отношению к полимеру снижается, следовательно, битум становится более жестким [22]. Обратная закономерность изменения температуры размягчения модифицированных образцов несет больше положительный эффект, поскольку больше отдалены от предельно допустимого значения марок 50/70 и 70/100 – не более 7 °С.

Согласно результатам измерений динамической вязкости, контрольные образцы битума низкой марки (Тип 1) до модификации составили 363.7 Па·с, а после модификации 376.6 Па·с. Влиянии модифицированной добавки на изменения динамической вязкости не выявлено, поскольку незначительные изменения лежат в пределах статистической погрешности частных измерений и соответствуют нормативным требованиям. Динамическая вязкость образцов высоких марок (Тип 2-8), в разрезе сравниваемых типов имеет большой разбег данных, о чем свидетельствует коэффициент вариации 26 %, в среднем составила 250.2 Па·с. Все показатели коэффициентов возрастания динамической вязкости не превышают предельно допустимого значения марок 50/70 и 70/100 – не более 2.5. Последнее говорит о приемлемости полученных результатов, их соответствии нормам.

Согласно результатам измерений температур воспламенений, контрольные образцы битума низкой марки (Тип 1) до модификации составили 281.2 °С, а после модификации 281.8 °С. Говорить о каких-либо изменениях температуры вспышки после включения в состав добавки, не приходится, поскольку незначительные изменения абсолютных и частных значений лежат в пределах статистической погрешности, которая оказалась не чувствительной (погрешность) к включению в состав битума новых компонентов модификатора. Средние значения температур вспышки образцов марки 70/100 варьируются от 271.2 до 310.2 °С, а средний показатель в разрезе всех типов образцов марки 70/100 составил 292.4 °С. Все полученные частные значения температур вспышки превышают предельно допустимое значение для марок 50/70 и 70/100 – 230 °С.

Согласно результатам измерений температур хрупкостей, контрольные образцы битума низкой марки (Тип 1) до модификации составили -18.5 °С, а после модификации -17.2 °С. Таким образом, влияние модифицированной добавки, также становится не чувствительной к изменению хрупкости, изменения абсолютных и частных значений лежат в пределах статистической погрешности. Средние значения температур хрупкости образцов марки 70/100 показали большой разброс в зависимости от производителя, варьируются от -13.4 до -23.1 °С, а средний показатель составил -20.1 °С. Все полученные частные значения температур хрупкости превышают предельно допустимое значение для марок 50/70 и 70/100 – 230 °С. Все частные значения хрупкости образцов низкой марки соответствуют требованиям, лежат выше порогового предела – не выше -18.0 °С. Для высоких марок битума данный показатель не соответствует нормативным требованиям (не выше -20 °С) у 2 из 7 производителей. Температура хрупкости после модификации, также

не соответствует требованиям высоких марок, однако, в частных случаях ниже некоторых средних значений хрупкости высоких марок.

В целом, согласно проведенным исследованиям, включение в состав битума низкой марки модификатора, не оказывает негативного влияния на ухудшение температурных показателей. В одних случаях наблюдается положительный эффект (температура размягчения), в других отсутствие негативного влияния (динамический коэффициент, температуры воспламенения и хрупкости), что в целом можно отнести к положительному результату исследования. Последующие исследования будут направлены на оценку физико-механических показателей модифицированных битумов, являющихся базовыми для оценки его эксплуатационной пригодности (пенетрация, дуктильность и пр.).

Список литературы

1. Белятинский А., Ян С., Краюшкина К., Шао М., Та М. Исследование возможности использования фосфорных шлаков в дорожном строительстве // *Engineering Science and Technology, an International Journal*. 2022. Т. 36. С. 101262.
2. Ху Ю., Си В., Кан С., Сюэ Ю., Ван Х., Парри Т., Эйри Г.Д. Современное состояние: Многоуровневая оценка старения битума // *Fuel*. 2022. Т. 326. С. 125045.
3. Алиха М.Р.М., Шакер С. Влияние типа битума, температуры и старения на прочность на сдвиг смешанного типа I/II битумных вяжущих: экспериментальная и теоретическая оценка // *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*. 2020. Т. 110. С. 102801.
4. Лукпанов Р.Е., Дюсембинов Д.С., Енкебаев С.Б., Цыгулёв Д.В. Пропиточный состав для повышения антиобледенительных свойств бетонных дорог // *Digital Technologies in Construction Engineering*. 2022. С. 305–311. Springer International Publishing.
5. Лукпанов Р.Е., Енкебаев С.Б., Цыгулёв Д.В., Дюсембинов Д.С. Оценка воздействия погружения свай на существующее жилое здание путем измерения вибрационных эффектов // *AIP Conference Proceedings*. 2023. Т. 2758. № 1. AIP Publishing.
6. Аль-Атруш М.Э. Структурное поведение геотермоэлектрического асфальтового покрытия: критический обзор в контексте изменения климата // *Heliyon*. 2022. Т. 8. № 12.
7. Кирничный В.Ю. Приоритеты и механизм модернизации автомобильного и дорожного комплекса // *Вестник Сибирской государственной автомобильной и дорожной академии*. 2011. № 22. С. 58–61.
8. Омран М., Шафи М., Егоров И. Проблемы, связанные с изменением климата для гибких дорожных покрытий в Канаде: обзор // *Journal of Cold Regions Engineering*. 2021. Т. 35. № 4. С. 03121002.
9. Ян С., Белятинский А., Першаков В., Шао М., Та М. Асфальтобетон на основе полимерно-битумного вяжущего, наномодифицированного углеродными нанотрубками для дорожного и аэродромного строительства // *Journal of Polymer Engineering*. 2022. Т. 42. № 5. С. 458–466.
10. Унаибаяев Б.З., Унаибаяев Б.Б., Андрияченко В. Буронабивные сваи в кожухах из нефтебитумных пород (КИРС) в условиях засоленных грунтов // *Przegląd Naukowy. Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*. 2021. Т. 30. № 1.
11. Порто М., Капуто П., Луизе В., Эскандарсефат С., Телтаев Б., Оливьеро Росси К. Битум и его модификация: обзор последних достижений // *Applied Sciences*. 2019. Т. 9. № 4. С. 742.
12. Ишак М.А., Джустоцци Ф. Корреляция между реологическими испытаниями битума и испытаниями асфальта на растрескивание при низких температурах // *Construction and Building Materials*. 2022. Т. 320. С. 126109.
13. Рахман С., Басин А., Смит А. Применение машинного обучения для прогнозирования характеристик асфальтовых смесей // *Construction and Building Materials*. 2021. Т. 295. С. 123585.

14. Яро Н.С.А., Сутанто М.Х., Хабиб Н.З., Напия М., Усман А., Аль-Сабай А.М., Рафик В. Оптимизация свойств асфальтобетонной смеси с модифицированным битумом на основе золы пальмовых косточек методом отклика поверхности и исследование влагоустойчивости // *International Journal of Pavement Research and Technology*. 2024. Т. 17. № 1. С. 123–150.
15. Эсмаили С., Сарма Х., Хардинг Т., Майни Б. Двухфазная относительная проницаемость битум/вода при различных температурах и давлениях SAGD: экспериментальное исследование // *Fuel*. 2020. Т. 276. С. 118014.
16. Ли Х., Цзя М., Чжан С., Ван Ч., Лю Ю., Ян Ц., Ян Б., Сунь Ю., Ван Х., Ма Х. Лабораторное исследование испарений, образующихся при использовании различных модифицированных битумов // *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2023. Т. 121. С. 103828.
17. Ахмедзаде П. Исследование и сравнение влияния SBS и SBS с новым реакционноспособным терполимером на реологические свойства битума // *Construction and Building Materials*. 2013. Т. 38. С. 285–291.
18. Нойман А., Кефер У., Грёгер Т., Вильхарм Т., Циммерман Р., Рюгер К.П. Исследование процессов старения битума на молекулярном уровне с использованием высокоразрешающей ИК-Фурье-спектроскопии и двумерной газовой хромато-масс-спектроскопии // *Energy & Fuels*. 2020. Т. 34. № 9. С. 10641–10654.
19. Мирвальд Й., Верковиц С., Камарго И., Машауэр Д., Хофко Б., Гроде Х. Понимание старения битума через исследование его полярных фракций // *Construction and Building Materials*. 2020. Т. 250. С. 118809.
20. Джемшиди А., Уайт Г., Курумисава К. Функциональные и эксплуатационные характеристики эпоксидной асфальтовой технологии: современное состояние // *Road Materials and Pavement Design*. 2023. Т. 24. № 4. С. 881–918.
21. Бехнуд А., Гхарехверан М.М. Морфология, реология и физические свойства полимермодифицированных битумов // *European Polymer Journal*. 2019. Т. 112. С. 766–791.
22. Проспери Э., Бокки Э. Обзор старения и омоложения битума: процессы, материалы и методы анализа // *Sustainability*. 2021. Т. 13. № 12. С. 6523.

Сведения об авторах (на трех языках):

Амирбаев Ерік Диханбайұлы – «Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты» АҚ вице-президенті, Астана, Қазақстан, erik_neo@mail.ru

Амирбаев Ерик Диханбаевич – вице-президент АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт», Астана, Казахстан, erik_neo@mail.ru

Amirbayev Erik Dikhanbayevich – Vice President, JSC «Kazakhstan Road Research Institute», Astana, Kazakhstan, erik_neo@mail.ru

Алижанов Дінмұхамбет Алижанұлы – «Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты» АҚ зертхана меңгерушісі, Астана, Қазақстан, dimash_a92@mail.ru

Алижанов Динмухамбет Алижанұлы – заведующий лабораторией АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт», Астана, Казахстан, dimash_a92@mail.ru

Alizhanov Dinmukhammet Alizhanuly – Head of Laboratory, JSC «Kazakhstan Road Research Institute», Astana, Kazakhstan, dimash_a92@mail.ru

Жұмағұлова Әдия Аскарқызы – т.ғ.к., доцент, «Өндірістік және азаматтық құрылыс технологиясы» кафедрасының доцент м.а., КЕАҚ «Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті», Астана, Қазақстан, adiya_kokbe@mail.ru

Жумагулова Адия Аскаровна – кандидат технических наук, ассоциированный профессор, и.о. доцента кафедры «Технология промышленного и гражданского строительства», НАО «Евразийский Национальный университет им. Л.Н. Гумилёва», Астана, Казахстан, adiya_kokbe@mail.ru

Zhumagulova Adiya Asqarqyzy – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Acting Associate Professor, Department of Industrial and Civil Construction Technology, NJSC «L.N. Gumilyov Eurasian National University», Astana, Kazakhstan, adiya_kokbe@mail.ru

Лұқпанов Рауан Ермағамбетұлы – PhD, қауымдастырылған профессор, «Өнеркәсіптік және тұрғын үй құрылысы технологиясы» кафедрасы, КЕАҚ «Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті», Астана, Қазақстан, rauan_82@mail.ru

Лукпанов Рауан Ермагамбетович – PhD, ассоциированный профессор кафедры «Технология промышленного и гражданского строительства», НАО «Евразийский Национальный университет им. Л.Н. Гумилёва», Астана, Казахстан, rauan_82@mail.ru

Lukpanov Rauan Ermagambetovich – Associate Professor, Department of Industrial and Civil Construction Technology, NJSC «L.N. Gumilyov Eurasian National University», Astana, Kazakhstan, rauan_82@mail.ru

Дүйсембинов Думан Серікұлы – к.т.н., «Өнеркәсіптік және тұрғын үй құрылысы технологиясы» кафедрасының уақытша міндетін атқарушы доценті, КЕАҚ «Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті», Астана, Қазақстан, dusembinov@mail.ru

Дюсембинов Думан Серикович – кандидат технических наук, и.о. доцента кафедры «Технология промышленного и гражданского строительства», НАО «Евразийский Национальный университет им. Л.Н. Гумилёва», Астана, Казахстан, dusembinov@mail.ru

Dusembinov Duman Serikovich – Candidate of Technical Sciences, Acting Associate Professor, Department of Industrial and Civil Construction Technology, NJSC «L.N. Gumilyov Eurasian National University», Astana, Kazakhstan, dusembinov@mail.ru

Вклад авторов:

Амирбаев Е.Д. - концепция, методология, анализ, визуализация, редактирование

Алижанов Д.А.- сбор данных, моделирование, интерпретация

Жумагулова А.А.- тестирование, ресурсы, подготовка текста

Лукпанов Р.Е. - методология, интерпретация, визуализация

Дюсембинов Д.С. - моделирование, анализ, редактирование, оформление

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Использование искусственного интеллекта (ИИ): Авторы не использовали искусственный интеллект при подготовке данной работы.

**ЖОҒАРЫ САПТЫ БИТУМДАРМЕН САЛЫСТЫРҒАН ТӨМЕНІ СҰРАНЫ
МОДИФИФИРЛЕНГЕН БИТУМДАРДЫҢ ТЕМПЕРАТУРА КӨРСЕТКІШТЕРІН
БАҒАЛАУ**

**Е.Д. Амирбаев¹, Д.А.Алижанов¹, А.А. Жұмағұлова^{1,2*}, Р.Е.Лұқпанов²,
Д.С. Дүйсембинов²**

¹«Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты» АҚ

²«Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті» Коммерциялық акционерлік қоғам

*Корреспондент автор: adiya_kokbe@mail.ru

Аннотация. Асфальтбетонды жабындардың беріктігін қамтамасыз ету үшін климаттық аймаққа байланысты битумның әртүрлі маркалары қолданылады: 70/100 және одан төмен битум маркалары ыстық оңтүстік аймақтар үшін, ал солтүстік аймақтар үшін 100/130 қолданылады [1]. Бірақ битум температура мен күн радиациясының әсерінен қартаюға ұшырайды, бұл оның серпімділігін, адгезиясын және деформацияға төзімділігін төмендетеді [2]. Зерттеудің мақсаты – төменгі сортты битумның қасиеттеріне

модификациялық қоспаның әсерін талдау және алынған нәтижелерді жоғары сортты битумның сипаттамаларымен салыстыру. Сынақтар әртүрлі өндірушілердің М 50/70 және М 70/100 маркалы битум үлгілері бойынша жүргізілді. Битум үлгілерінің жылдам қартаюы табиғи қартаю жағдайларын имитациялай отырып, RTFOT камерасында жүргізілді. Битумды ескіргеннен кейін жұмсарту температурасы, динамикалық тұтқырлық, тұтану температурасы және сынғыштық сияқты көрсеткіштер анықталды. Жұмсарту температурасын өлшеу нәтижелері бойынша төменгі сортты битум үлгілері (1 типті) модификацияға дейін тұрақты мәндерін көрсетті, 51,2 °С, ал модификациядан кейін 68,6 °С құрады. Динамикалық тұтқырлықты арттыру коэффициенттерінің көрсеткіштері 50/70 және 70/100 маркаларының рұқсат етілген ең жоғары мәнінен аспайды - 2,5-тен аспайды. Тұтану температурасының мәндерін өлшеу 50/70 және 70/100 - 230 °С үшін рұқсат етілген ең жоғары мәннен асып түседі. Модификациядан кейінгі морттылық температурасы да жоғары сорттардың талаптарына сәйкес келмейді, дегенмен кейбір жағдайларда жоғары сорттардың кейбір орташа сынғыштық мәндерінен төмен [3]. Осылайша, төменгі сортты битум құрамына модификаторды қосу оның температуралық көрсеткіштерінің нашарлауына теріс әсер етпейді, сонымен қатар кейбір жағдайларда ол жоғары сортты битумға қарағанда жоғары нәтиже көрсетеді.

Түйінді сөздер: битум, битум жұмсарту нүктесі, пластикалық, битум тұтану температурасы.

ASSESSMENT OF TEMPERATURE INDICATORS OF LOW GRADE MODIFIED BITUMEN IN COMPARISON WITH HIGH GRADE BITUMENS

Y.D.Amirbaev¹, D.A.Alizhanov¹, A.A. Zhumagulova^{1,2*}, R.E. Lukpanov²,
D.S. Dusembinov²

¹«Kazakhstan Road Research Institute» JSC

² «L.N. Gumilyov Eurasian National University» NJSC

*Corresponding author: adiya_kok6e@mail.ru

Abstract. To ensure the durability of asphalt concrete pavements, different grades of bitumen are used depending on the climate zone: bitumen grades 70/100 and lower are used for hotter southern regions, and 100/130 for colder northern regions [1]. However, bitumen is subject to aging due to the effects of temperatures and solar radiation, which reduces its elasticity, adhesion and resistance to deformation [2]. The aim of the study is to analyze the effect of a modifying additive on the properties of low-grade bitumen and compare the results with the characteristics of higher-grade bitumen. The tests were carried out on samples of M 50/70 and M 70/100 grades of bitumen from various manufacturers. Accelerated aging of bitumen samples was carried out in an RTFOT chamber, simulating natural aging conditions. After aging the bitumen, such indicators as softening point, dynamic viscosity, flash point and brittleness were determined. According to the softening temperature measurements, the samples of low-grade bitumen (Type 1) before modification showed stable values of 51.2 °C, and after modification 68.6 °C. The dynamic viscosity increase coefficients do not exceed the maximum permissible value of grades 50/70 and 70/100 - no more than 2.5. The flash point measurement values exceed the maximum permissible value for grades 50/70 and 70/100 - 230 °C. The brittleness temperature after modification also does not meet the requirements of high grades, however, in some cases it is lower than some average brittleness values of high grades [3]. Thus, the inclusion of a modifier in the composition of low-grade bitumen does not have a negative effect on the deterioration of its temperature indicators, moreover, in some cases it shows a result higher than that of a higher grade bitumen.

Keywords: bitumen, bitumen softening point, plasticity, bitumen flash point.



Copyright: © 2025 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/>).



САМОВОССТАНАВЛИВАЮЩИЕСЯ БЕТОНЫ С КОЛЛОИДНОЙ СТРУКТУРОЙ УПРОЧНЕНИЯ – БУДУЩЕЕ ЭКОЛОГИЧНЫХ И ДОЛГОВЕЧНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Б.А. Асматулаев ^{1*}, Р.Б. Асматулаев ¹, Н.Б. Асматулаев ¹

¹Научно-исследовательская и производственная компания «Каздоринновация», г. Алматы,
Республика Казахстан

*Корреспондент автор: boris-aisa@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты фундаментальных лазерных и экспериментальных исследований, а также многолетнего мониторинга автомобильных дорог, построенных из бетона на основе белитовых дорожных цементов. Для экологичного производства белитовых цементов используются крупнотоннажные техногенные минеральные отходы (ТМО) — шлаки и золы от переработки руд и угля, которые при оптимальной механо-химической активации проявляют уникальные вяжущие свойства. Утилизация более 60 млрд тонн накопленных ТМО рассматривается в рамках «Зелёной экономики» Казахстана как стратегическое направление устойчивого развития.

Белитовые цементы, содержащие до 80 % двухкальциевого силиката (C_2S), обеспечивают долговечность дорожных покрытий сроком эксплуатации свыше 50 лет. Лазерные исследования выявили коллоидную структуру гидросиликатов кальция ($C-S-H$), обеспечивающую самовосстановление и упрочнение бетона под действием транспортных и температурных нагрузок. Практические наблюдения подтверждают, что упрочнение таких бетонов продолжается десятилетиями. Научная новизна работ заключается в экспериментальном подтверждении теории коллоидного упрочнения В. Михаэлиса, выдвинутой 180 лет назад.

Ключевые слова: автомобильные дороги, фундаментальные исследования, экологичные белитовые цементы, коллоидные структуры, тиксотропия и реопексия, долговечность.

Введение

Белитовые цементы, с преобладающим содержанием ТМО, состоящих из двухкальциевого силиката (до 50 - 80 % C_2S - белит), обеспечивают высокую технологичность при круглогодичном строительстве и долговечность дорожного бетона при эксплуатации автодорог сроком не менее 50 лет. Лазерные исследования позволили изучить структуру цементного камня на основе белитового цемента (содержание C_2S -белит до 50 – 80 %), формируемого коллоидными новообразованиями наноразмерного уровня — гидросиликатами кальция $C-S-H$, способствующими практически полной гидратации цементных зерен. В сопоставлении с традиционным алитовым портландцементом (содержание C_3S - алит до 65 %), обреченным на разрушение в условиях эксплуатации автодорог, поэтому в мире межремонтные сроки цементобетонных покрытий ограничиваются до 25-30 лет. Результаты исследований и практикой установлено, что коллоидные структуры обладают следующими уникальными свойствами: длительная тиксотропия (самовосстанавливание при возможном разрушении) и длительная реопексия (упрочнение под действием транспортных нагрузок и сезонных температурных колебаний),

исключительно в условиях эксплуатации автодорог. Мониторинг автодорог, построенных из бетонов на различных белитовых цементах, подтверждает, что упрочнение бетонов продолжается уже почти 50 лет. Впервые в Казахстане подтверждена научная новизна и эффективность теории упрочнения минеральных вяжущих с преобладанием коллоидных структур, предложенной ученым В. Михаэлисом ровно 180 лет назад, но до сих пор не имевшей практического и теоретического подтверждения. Новизна разработок подтверждена рядом патентов на изобретения Республики Казахстан. Считается, что найден секрет древнего долговечного римского бетона, освоенного на применении вулканических туфов и расплавов.

1. Актуальность разработки

В начале XXI века мировыми концепциями «вечных дорог» США и «долговечных дорог» стран Европейского Союза выдвинуты новые требования к межремонтным срокам службы дорожных конструкций в связи с ростом транспортных нагрузок в 2–3 раза. Современными требованиями установлено, что затраты на строительство и содержание дорог окупаются при сроках эксплуатации не менее 50 лет, без необходимости ремонта. В Казахстане разработаны и освоены монолитные дорожные бетоны на основе белитовых цементов и вяжущих, полученных на основе ТМО, которые обеспечивают самозалечивание бетона и не деформируются, а от действия вызванных транспортными и климатическими нагрузками, упрочняются быстрее. Для экологичного производства белитовых цементов (без обжига) используются промышленные крупнотоннажные техногенные минеральные отходы (ТМО) — шлаки от переработки металл и фосфор содержащих руд, а также золы от сжигания угля на 39 ТЭЦ Казахстана, которые прошли термическую обработку и при оптимальной механо - химической активизации обладают уникальными вяжущими свойствами. Утилизация более 60 млрд тонн накопленных крупно тоннажных отходов - ТМО, в Казахстане с ежегодным приростом до 1 млрд тонн, является приоритетом в рамках закона Казахстана «Зелёная экономика».

2. Научные лазерные исследования дорожного бетона с коллоидной структурой многолетнего упрочнения.

Бетон - наиболее распространённый строительный материал, являющийся наноструктурированным многокомпонентным композитом, включающим аморфную фазу, кристаллы нано- и микрометрового уровня и связанную воду. Фундаментальными Физико-химические исследования установили, что в структуре белитового цементного камня основным клеевым компонентом в структуре цементного камня являются коллоидные гидросиликаты кальция типа C-S-H, в отличие от кристаллических новообразований в алитовых портландцементных, которые не обладают свойствами самовосстановления при разрушениях.

Результаты рентгенографического анализов показали, что при различных температурах твердения фаза новообразований сохраняется, а снижение температуры замедляет гидратацию цемента. Электронная микроскопия подтверждает наличие развитых волокнистых C-S-H структур в белитовом цементе спустя 90 и 180 суток твердения, в отличие от кристаллического строения портландцемента.

Прочностные испытания показывают, что при понижении температуры твердение замедляется, но последующий прирост прочности сохраняется.

Данные приведенные на рис.1 свидетельствуют, что низкие положительные и отрицательные температуры замедляют процесс твердения цемента, предварительно выдержанного в нормальных условиях. При этом, чем ниже температура твердения, тем медленнее происходит набор прочности.

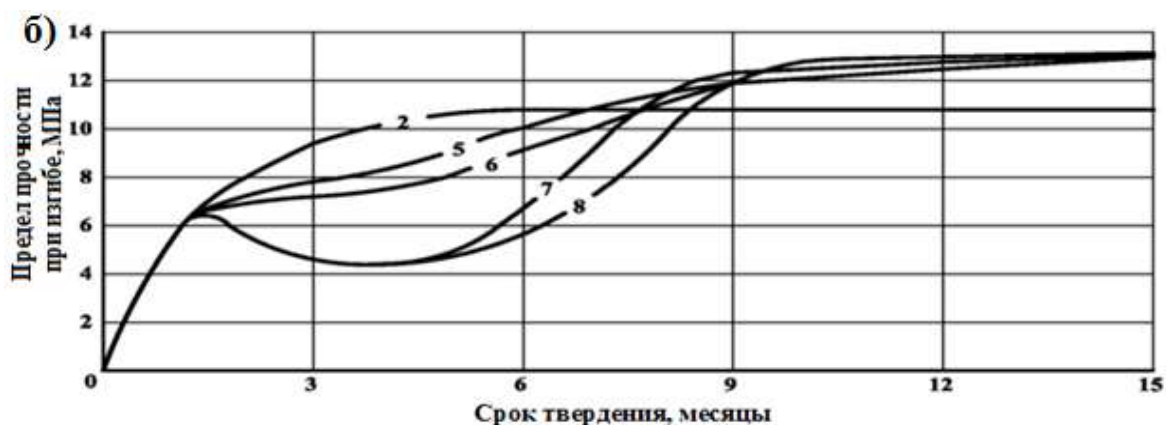


Рисунок 1 – Кинетика изменения прочности образцов белитового цементного камня во времени: 2 – постоянно в нормальных условиях; 5,6,7,8 – предварительно выдержанных 1 месяц при нормальных условиях, затем соответственно при +5 °С; 0 °С; -5 °С, -10 °С, затем опять в нормальных условиях: *a* – прочность на сжатие; *б* – прочность на растяжение при изгибе.

3. Долговечность бетонных покрытий дорог

Долговечность дорожных покрытий на белитовом цементе подтверждаются результатами испытаний и мониторинга дорог, построенных в 1976–1984 гг. (рисунок 2.). Упрочнение бетона продолжается более 35–49 лет.

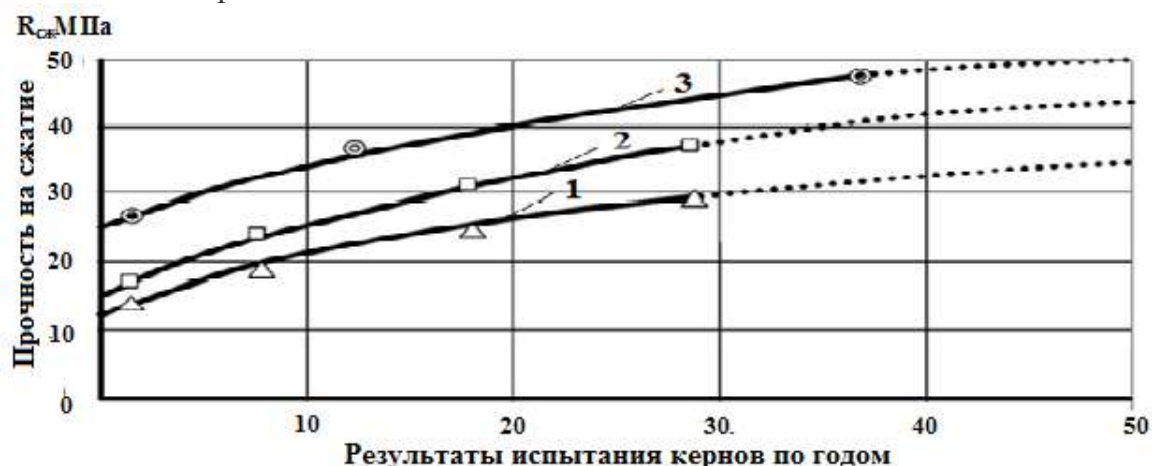


Рисунок 2 – Кинетика нарастания прочности дорожных покрытий из самовосстанавливающегося дорожного бетона на основе ТМО. Где: 1-зола ТЭЦ, 2-бокситовый шлам, 3- гранулированный шлак (доменный или фосфорный)

Таблица 1 – Сопоставление показателей: традиционного цементобетона и самовосстанавливающегося дорожного бетона на основе белитового цемента из ТМО

Состав дорожного бетона, мас. %				Пределы прочности в возрасте 180 сут, МПа (среднее значение из 3-х)			Модуль упругости E_y , МПа
Щебень фракций, мм:		Песок $M_{кр} = 2,5$	Цемент, %	$R_{сж}$	$R_{изг}$	$R_{изг}/R_{сж}$	
5-10	10-20						
15	34	29	Белитовый цемент, 15%	30,9	5,9	0,19	30000

15	34	29	Алитовый цемент, М400,15%	30,0	4,5	0,15	35000
----	----	----	---------------------------	------	-----	------	-------

Высокие деформативные свойства медленно твердеющего бетона свидетельствуют о высокой дисперсности и прочности на растяжение коллоидной структуры цементного камня белитовых цементов.

В таблице 2, представлены результаты испытания кернов, высверленных из бетона автодороги «Фоголевка – Жданово», построенной в декабре 1977 года и испытанных через 12 лет и 28 лет и эта дорога находится в идеальном состоянии до настоящего времени..

Таблица 2 – Результаты испытания кернов из бетонного покрытия автодороги «Фоголевка – Жданово» республиканского значения

Наименование измеряемого показателя	Испытание кернов 1989 г., МПа, (возраст бетона 12 лет)	Испытание кернов 2005 г., МПа, (возраст бетона 28 лет)
Предел прочности при сжатии	36,4; 36,7; 36,5 Среднее 36,5 (М 350)	48,6; 49,0; 48,8 Среднее 48,8 (М 450)
Предел прочности при изгибе	-	8,6; 8,3

Заключение

Установлено из опыта Казахстана и мировой практики, что цементобетонные покрытия на основе портландцемента с преобладанием до 65% трех кальцевого гидросиликата - C3S, имеют ограниченный срок службы (до 25–30 лет). Из химии цементов установлено [7], что C3S обречен на разрушение по закономерностям физико-химических процессов, в условиях эксплуатации дорог, подвергающихся динамическим транспортным нагрузкам и сезонным изменениям температуры и влажности бетона. Впервые в мировой практике в Казахстане установлено, что дорожные бетоны на основе белитовых цементов с преобладанием C2S - белита до 50 - 80%, обладают свойством коллоидной структурой упрочнения, что обеспечивает гидратацию цемента практически полностью, что и обеспечивает долговечность бетона в течение эксплуатации дорог не менее 50 лет. Это подтверждает актуальность и научную новизну, установленную и подтвержденную впервые учеными в Казахстане, по выдвинутой теории видным ученым В. Михаэлисом, предложенную 180 лет назад, но не имевшей практического и теоретического подтверждения до настоящего времени. Так как коллоидная структура может быть осуществима только для условий применения жестких цементных смесей и, желательно при действии динамических нагрузок, способствующих углублению гидратации белитовых цементов до полной гидратации всех зерен цемента. Самовосстанавливающиеся дорожные бетоны и колееустойчивые асфальтобетоны на основе белитовых цементов и наноструктурирующих асфальтовых вяжущих проявляют свои уникальные эксплуатационные свойства исключительно в условиях многолетней эксплуатации автомобильных дорог. Нами установлено испытаниями бетонных и асфальтовых кернов, высверленных с дорог различного возраста эксплуатации —многолетнее упрочнение под действием постоянных много циклических вибрационных транспортных нагрузок, а также сезонных изменений температур и влажности дорожных конструкций, находящихся в эксплуатации. После 39 лет эксплуатации дороги бетон достигает прочности М450 - 480, а на растяжение при изгибе до 9 МПа, что в 2 раза выше традиционного цементобетона М500.

Список использованной литературы

1. Радовский Б. С. Концепция вечных дорожных одежд. Дорожная техника. – 2011. – С. 120–132.
2. Асмагулаев Б.А. Монография «Строительство дорожных одежд с повторным использованием материалов реконструируемых дорог». Алматы: Эверо, 1999. – 212 с.
3. Асмагулаев Б.А. и др. Монография «Нанотехнологии XXI века для долговечных автомобильных дорог Казахстана». Алматы: ТОО «Бук эксперт Казахстан», 2024.-348с.
4. Асмагулаев Б.А. и др. Укатанный бетон на шлаковом вяжущем. Жур.Автомобильные дороги, №9, 1993, с.18-20.
5. Асмагулаев Б.А. Прочность шлаковых оснований при ранней эксплуатации. Жур.Автомобильные дороги, М.1984, №1, с.17-18.
6. Асмагулаев Б.А., Асмагулаев Р.Б. и др. Применение наноструктурированных шлакоминеральных бетонов. Промышленный транспорт Казахстана, 2021, №2, с.30–34.
7. Тейлор Х.Ф. Химия цемента. М.: Стройиздат, 1969. – С. 17–18. 7. Абланов Б.Ф., Белоусов Б.В., Асмагулаев Б.А. Кинетика твердения фосфоршлаковых вяжущих. Труды КазПТИ, Т.13, 1978, с. 69–75.
8. Асмагулаев Б.А. и др. Перспективы наномодифицированного бетона. Труды МАДИ, 2020, с. 75–88.
9. Asmatulayev B.A. Laser research on nanostructured concrete with colloidal structure for long term strengthening in highway operation. 1st edition of strenuous world congress on laser-science, optics & photonics. P.16-17 Apr.2024, London, UK.
10. Асмагулаев Б.А. и др. Патенты Республики Казахстан: — «Самовосстанавливающийся дорожный бетон», Инновационный патент KZ (13) A4 (11) №29852 МЮ от 15.05.2015, бюл. №5. С.4. — Способ строительства дороги с использованием фрезерованного асфальтового гранулята (Варианты) №4871 от 21.04.2020, бюл. №4 - «Наноструктурированный колееустойчивый асфальтобетон и наноструктурирующий минеральный порошок» KZ (13) U (11) №6701 от 10.12.2021, бюл. №49.

Сведения об авторах:

Асмагулаев Борис Айсаевич – техникалық ғылымдарының докторы, профессор, ғылыми директор, ЖШС «НИиПК «Каздоринновация», boris-aisa@mail.ru

Асмагулаев Борис Айсаевич – доктор технических наук, профессор, директор по науке, ТОО «НИиПК. «Каздоринновация», boris-aisa@mail.ru

Asmatulaev Boris Aisaevich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of Research, LLP «NIiPK KazdorInnovation», boris-aisa@mail.ru

Асмагулаев Руслан Борисович – техникалық ғылымдарының кандидаты, ИТА көлік академигі, ЖШС «НИиПК «Каздоринновация», директор, kazdorin@mail.ru

Асмагулаев Руслан Борисович – канд. техн. наук, Академик транспорта ИТА, ТОО «НИиПК. «Каздоринновация», директор, kazdorin@mail.ru.

Asmatulaev Ruslan Borisovich – Candidate of Technical Sciences, ITA Transport Academy Member, Director, LLP «NIiPK KazdorInnovation», kazdorin@mail.ru

Асмагулаев Нурсултан Борисович – PhD доктор, ИТА академигі, «КаздорИнновация» ғылыми-зерттеу өндірістік компаниясының жобалау және зерттеу бөлімінің басшысы, boris-aisa@mail.ru

Асмагулаев Нурсултан Борисович - доктор PhD, академик ИТА, Руководитель проектно-изыскательского отдела научно-исследовательской производственной компании «КаздорИнновация», boris-aisa@mail.ru

Asmatulaev Nursultan Borisovich – PhD, ITA Academician, Head of the Design and Research Department, Scientific-Research Production Company «KazdorInnovation», boris-aisa@mail.ru

Вклад авторов:

Асматулаев Б.А. – научная концепция, обобщение результатов и подготовка текста статьи.

Асматулаев Р.Б. – проведение экспериментов, анализ данных, оформление материалов.

Асматулаев Н.Б. – практическая реализация, анализ эксплуатационных характеристик, согласование статьи.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**КОЛЛОИДТЫҚ ҚАТАЙТУ ҚҰРЫЛЫМЫ БАР ӨЗІН-ӨЗІ ҚАЛПЫНА
КЕЛТІРЕТІН БЕТОНДАР – ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ТӨЗІМДІ
АВТОЖОЛДАРДЫҢ БОЛАШАҒЫ**

Б.А. Асматулаев^{1*}, Р.Б. Асматулаев¹, Н.Б. Асматулаев¹

¹«Қаздоринновация» ғылыми-зерттеу және өндірістік компаниясы, Алматы қ., Қазақстан Республикасы

*Корреспондент автор: boris-aisa@mail.ru

Аңдатпа. Мақалада белитті жол цементі негізінде салынған бетоннан жасалған автомобиль жолдарының ұзақ мерзімді мониторингімен қатар, іргелі лазерлік және тәжірибелік зерттеулердің нәтижелері келтірілген. Экологиялық таза белитті цемент өндіру үшін кен және көмір өңдеуден алынған ірі тоннажды техногендік минералды қалдықтар (ТМҚ) – шлактар мен күлдер қолданылады. Оларды оңтайлы механо-химиялық белсендіру кезінде ерекше байланыстырғыш қасиеттер байқалады. Жиналған 60 млрд тоннадан астам ТМҚ-ны кәдеге жарату Қазақстанның «Жасыл экономика» тұжырымдамасы аясында орнықты дамудың стратегиялық бағыты болып табылады.

Құрамында 80 % - ға дейін екікальцийлі силикат (C_2S) бар белитті цементтер жол жабындарының 50 жылдан астам қызмет ету мерзімін қамтамасыз етеді. Лазерлік зерттеулер кальций гидросиликаттарының ($C-S-H$) коллоидтық құрылымын анықтады, ол көлік және температуралық жүктемелер әсерінен бетонның өзін-өзі қалпына келтіруі мен қатайуын қамтамасыз етеді. Практикалық бақылаулар мұндай бетондардың ондаған жылдар бойы беріктігін арттыратынын дәлелдейді. Ғылыми жаңалық В. Михаэлис ұсынған 180 жыл бұрынғы коллоидтық қатайту теориясын тәжірибелік тұрғыдан растауда.

Түйінді сөздер: автомобиль жолдары, іргелі зерттеулер, экологиялық белитті цементтер, коллоидтық құрылымдар, тиксотропия және реопексия, төзімділік.

**SELF-HEALING CONCRETES WITH COLLOIDAL HARDENING STRUCTURE –
THE FUTURE OF ECOLOGICAL AND DURABLE ROADS**

B.A. Asmatulaev^{1*}, R.B. Asmatulaev¹, N.B. Asmatulaev¹

¹ «KazdorInnovation» Research and Production Company, Almaty, Kazakhstan

*Corresponding author: boris-aisa@mail.ru

Abstract. The article presents the results of long-term monitoring of roads made of concrete based on belite cement, along with fundamental laser and experimental studies. To produce environmentally friendly belite cement, large-tonnage technogenic mineral wastes (TMW) from ore and coal processing – slags and ashes – are used. When optimally activated through mechano-chemical treatment, these materials exhibit unique binding properties. The utilization of over 60

billion tons of accumulated TMW is a strategic direction for sustainable development within the framework of Kazakhstan's «Green Economy» concept.

Belite cements containing up to 80 % dicalcium silicate (C_2S) ensure the service life of road pavements for more than 50 years. Laser studies have revealed the colloidal structure of calcium hydrosilicates (C–S–H), which provides self-healing and hardening of the concrete under traffic and temperature loads. Practical observations confirm that such concretes increase their strength over several decades. The scientific novelty lies in the experimental confirmation of the colloidal hardening theory proposed by V. Michaelis 180 years ago.

Keywords: roads, fundamental research, ecological belite cements, colloidal structures, thixotropy and rheopexy, durability.



Copyright: © 2025 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/>).



REGULATION OF SPARE PARTS REQUIREMENTS FOR DUMP TRUCKS

Zh.M. Kuanyshbayev^{1*}, A.A. Ibrayeva², D.V. Kapskii³

¹ Doctor of Technical Sciences, professor NJSC «L.N. Gumilyov Eurasian National University», Astana, Republic of Kazakhstan

² Specialist of the Department of Science and Innovation Development «Kazakhstan Highway Research Institute» JSC, Astana, Kazakhstan

³ Doctor of Technical Sciences, Professor, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus.

*Corresponding author: lev-49-07@mail.ru

Abstract. As is well known, the mining industry serves as a raw material base for the development of major industrial sectors such as metallurgy, mechanical engineering, energy, chemical production, and construction materials. The repair of mining transport equipment is a key factor under harsh operating conditions such as impact loads, vibration, high humidity, dust, and temperature fluctuations, all of which reduce the efficiency of maintenance and repair operations.

Maintaining the operable condition of machinery requires strict adherence to the system of maintenance and repair (hereinafter – M&R). An important role in this process is played by the production and rational use of spare parts, which ensures the reliability of machines and the stable operation of enterprises. The regulation of spare parts consumption is a crucial factor in sustaining equipment performance under strict norms of spare parts use.

The aim of the study is to develop a method for optimizing spare parts requirements for dump trucks, taking into account the risk factor of shortage or surplus. The main research direction is the construction of a mathematical model that considers the cost structure of repairs and identifies the optimal risk value that minimizes financial losses.

Key words: mining industry, dump truck, spare parts, repair, risk factor, cost optimization, equipment downtime.

Introduction

The main indicator for spare parts consumption has always been the average service life until replacement of a component, assembly, unit, or aggregate. The system of scheduled preventive repairs (SPR), introduced in the 1930s, was based on the average service lives of machine elements, the replacement distribution of which determines the repair cycle structure. Maintaining machine operability is directly associated with the growth of repair work volumes, while simultaneously reducing the consumption of spare parts for operational needs. Moreover, due to the increasing deployment of heavy equipment in the mining industry, accelerated depreciation standards are widely applied, and worn-out machines are written off, which leads to a reduction in spare parts demand. Nevertheless, expenditures for spare parts continue to grow annually, while shortages of fast-wearing and basic components persist [2]. Downtime of mining equipment due to the lack of spare parts reaches 16 % of all unplanned downtime.

Methodology

The research methodology is based on the analysis of the scheduled preventive repair system and the application of probabilistic distribution tools (Newton binomial, Poisson formula, local Laplace theorem). The model accounts for fixed and variable costs, additional expenses for delivery and storage of parts, as well as lost profits caused by downtime. The results demonstrated that the proposed method makes it possible to determine the optimal level of risk at which total repair costs for dump trucks are minimized. It was concluded that the model contributes to more rational allocation of financial resources and reduces losses from spare part shortages or surpluses.

The contribution of the study is the development of an integrated approach to assessing and planning the spare parts requirements for dump trucks, which has high practical value for mining enterprises

Results and Discussion

The process of planning spare parts and their use must be carried out with particular care, since irrational allocation of financial resources and the accumulation of excessive inventory contribute to the inefficient use of materials in the production process. This also leads to a shortage of repair resources and, consequently, to company losses caused by dump truck downtime due to the absence of spare parts.

Based on the principle of minimizing costs, the availability of spare parts can be calculated under given conditions by determining the minimum repair expenses at the optimal risk value.

The introduced parameter k_p shows that the lower the expenditures on maintenance, procurement, and delivery of spare parts, the lower the costs from surplus spare parts will be. At the same time, the company's costs associated with additional downtime of dump trucks during repair will increase.

By introducing the parameter k_p , it is possible to trace the dynamics of company costs resulting from dump truck downtime due to the absence of spare parts in stock. To determine the minimum repair costs of a dump truck related to the replacement of a specific unit, it is necessary to define the optimal risk value.

The total costs C_p of a mining enterprise associated with dump truck repair for unit replacement are determined as follows:

$$C_p = S_{const} + S_{var} + S_{add} + P_n, \quad (1)$$

where S_{const} – conditionally fixed costs in repair;

S_{var} – conditionally variable costs in repair;

S_{add} – additional expenses for spare parts related to ordering, delivery, and storage of missing components;

P_n – lost profit due to additional downtime of the dump truck during repair caused by the absence of spare parts.

When replacing a dump truck unit, the conditionally fixed expenses of the mining enterprise are determined as follows:

$$S_{const} = m_{y_{n,T}} N P_{vir} h_p, \quad (2)$$

where $m_{y_{n,T}}$ – the share of conditionally fixed costs in the cost of transporting 1 ton of ore; N – the cost of 1 ton of ore; P_{out} – the output of the dump truck, t/h; h_p – the downtime of the dump truck during the replacement of a unit (assembly), h.

$$H_p = h_n + (h_3 + h_d \cdot 3ch) m_p, \quad (3)$$

where h_n – the standard time for unit replacement, h; h_3 – the time required to place an order for a missing spare part, h; $h_{st.del}$ – the storage and delivery time of spare parts, h.

When replacing a unit, the conditionally variable expenses are determined as follows:

$$C_{per} = (1 - m_{up.p}) F_{np}, \quad (4)$$

where $(1 - m_{up.p})$ – the share of conditionally variable costs in the normative (estimated) cost of repair; F_{np} – the normative (estimated) cost of major repair and replacement of a dump truck unit.

For the use of repair equipment and shop expenses, the total amount of labor costs for repair workers, normative expenditures for spare parts for current and major repairs of the unit are determined by the sum of labor costs of repair workers.

According to formula (5), we determine the additional expenses for spare parts arising from delivery, ordering, and storage of missing components at the time of repair.

$$C_{dop} = (T_{zch} + T_{d.zch}) l_n l_p, \quad (5)$$

where T_{zch} – the price of spare parts for unit repair at the beginning of the planned period; $T_{d.zch}$ – customs duties and expenses for storage and delivery of parts for unit repair at the beginning of the planned period.

Lost profit is the profit from product sales that the enterprise expected to receive in the planned period but did not due to additional downtime of dump trucks.

Lost profit is determined by the following formula:

$$P_n = P_y Q_{vyr}, \quad (6)$$

where P_n – the lost profit of the enterprise due to dump truck downtime during repair; P_y – the specific planned profit of the enterprise.

As we can see, depending on the number of tested units and the corresponding risk coefficient value n_p , the annual number of major overhauls of a unit $d_{kp.a}$ is determined at the risk coefficient of spare parts shortage n_p , based on the resource distribution law of the unit using the Newton binomial expansion, the local Laplace theorem, or the Poisson formula.

$$d_{kp.a} = h(n_p), \quad (7)$$

It should be noted that the execution of a major overhaul of a unit in the planned period depends on the quality of the previously performed repair.

A significant role is played by the provision of genuine spare parts, the conditions under which the repair is carried out, and the limitations of the repair facility in terms of selecting friction pairs.

According to the resource distribution law, the actual number of major overhauls of a unit during the planned period may fluctuate within certain limits, which may result in a surplus of units stored in the enterprise warehouse.

$$C_{din} = S_1 (1 + n p_n^{(\mu)}) \quad (8)$$

where C_{din} – the dynamic turnover effect of costs lost due to a surplus of units resulting from a low risk of their shortage;

μ – the cost evaluation period, years, assumed to be 1.5–2 times longer than the average service life of standard objects;

m – the year within the evaluation period μ ($m = 1, 2, 3, \dots, \tau$);

s_1 – the costs of purchasing unused units stored in the enterprise warehouse during the

planned period, thousand rubles;

n – the accumulation rate (the share of profit allocated for the reproduction of fixed assets);

(t) – the year within the evaluation period μ ($t = 1, 2, 3, \dots, \tau$);

$p_n^{(\mu)}$ – the coefficient for additional turnover costs arising from investment in secondary (standard) objects, determined with sufficient accuracy by the following expression.

$$p_n^{(\mu)}(x + a)^n = 1 + N\bar{m}_n + nU^2 \sum_{k=1}^{\bar{m}_1 - \bar{m}_c - \bar{m}_{ocb}} k + \frac{N}{\bar{m}_{cn}} \sum_{k=1}^{\bar{m}_1 - \bar{m}_c} k, \quad (9)$$

where C_{dyn} – the dynamic turnover effect of costs lost due to a surplus of units resulting from a low risk of their shortage; μ – the cost evaluation period, years, assumed to be 1.5–2 times longer than the average service life of standard objects; m – the year within the evaluation period μ ($m = 1, 2, 3, \dots, \tau$); s_1 – the costs of purchasing unused units stored in the enterprise warehouse during the planned period, thousand rubles; n – the accumulation rate (the share of profit allocated for the reproduction of fixed assets); (t) – the year within the evaluation period μ ($t = 1, 2, 3, \dots, \tau$);

$p_n^{(\mu)}$ – the coefficient for additional turnover costs arising from investment in secondary (standard) objects, determined with sufficient accuracy by the following expression.

where N – the coefficient of capital investment efficiency; for second-stage facilities it is taken as approximately 0.08;

$\bar{m}_s = \min\{\bar{m}_1; \bar{m}_2\} > 0$ – the smaller of the two positive values m_1 and m_2 , where

$\bar{m}_1 = \mu - m_{osv} - \bar{m}_s - \bar{m}_{osv} + 1$, and $\bar{m}_2 = \bar{m}_{sl} - \bar{m}_{osv}$.

Here:

- **mosv** – the period for achieving the design capacity (productivity) of first-stage equipment, years;

- **mc** – the construction (manufacturing) period of standard (subsequent-stage) facilities, years;

- **mosv** – the period for achieving the design capacity (productivity) of standard facilities (equipment of subsequent stages), years;

- **msl** – the service life of standard facilities, years; $k = 1, 2, 3, \dots$ – natural numbers.

At the same time, the turnover of costs is carried out in the following sequence. Further, depreciation charges allocated from profits for the replacement of equipment that has exhausted its service life, invested in the purchase of first-stage facilities, generate during their operation the first-stage costs for acquiring third-stage facilities. Preliminary calculations show that by the fourth or fifth turnover cycle, the amount of additional costs from the operation of second and subsequent-stage facilities becomes so small that it does not significantly affect the final result. Moreover, due to the cost assessment period, it is advisable to assume it to be no less than twice the maximum service life of a haul truck unit.

Formula (6), taking into account expression (8), shows:

$$C_{dyn} = S_1 \left[1 + \gamma \left(1 + N\bar{m}_n + nU^2 \sum_{k=1}^{\bar{m}_1 - \bar{m}_c - \bar{m}_{ocb}} k + \frac{N}{\bar{m}_{cn}} \sum_{k=1}^{\bar{m}_1 - \bar{m}_c} k \right) \right], \quad (10)$$

In the planned period, the costs P_1 for the acquisition of spare parts for the major overhaul of units that remain unused during the planned period can be determined as:

$$S_1 = [h_{kp.a}(fp) - h_{kp.a}(fp=0,5)] Snp,$$

where $h_{kp.a}(fp)$ – the number of major overhauls of the unit per year at a risk coefficient fp ; $h_{kp.a}$ ($Kp = 0,5$) – the number of major overhauls of the unit per year at a risk coefficient $Kp = 0,5$ i.e., determined based on its average service life; Cnp – the standard cost of spare parts for the major overhaul of the unit.

The total annual costs associated with haul truck downtime for unit replacement during repair can be expressed by substituting formulas (2)...(8) into expression (1) as follows:

$$Z_{sum} = Z_{post} + Z_{per} + Z_{dop} + P_n + A_z \quad \text{or}$$

$$Z_{sum} = \left\{ \begin{aligned} & f_{up.t} c Q_{vyr} \times \\ & \times \left\lceil \frac{m_n +}{(m_z + m_{d.zch}) k_p} \right\rceil + \\ & + (1 - f_{up.p}) c_{np} + \exists_z + \\ & + (F_{zch} + F_{d.zch}) p_i p_p + \\ & + X_y Q_{vyr} [m_n + (m_z + m_{d.zch}) p_p] \end{aligned} \right\} t_{kp.a} \quad (11)$$

Next, we obtain expression (12). Consequently, the model for estimating the total annual costs of the enterprise associated with the repair of a haul truck through the replacement of a specific unit, and depending on the risk coefficient, takes the following form:

$$Z_{sum} = \left\{ \begin{aligned} & (f_{up.t} c Q_{vyr} + X_y Q_{vyr}) \times \\ & \times [m_n + (m_z + m_{d.zch}) p_p] + \\ & + (1 - f_{up.p}) c_{np} + A_z + \\ & + (F_{zch} + F_{d.zch}) p_i p_p \end{aligned} \right\} t_{kp.a} \quad (12)$$

Thus, this method can be applied to optimize the financial resources required for the acquisition of spare parts, which makes it possible to optimize the process and costs both from shortages and from surpluses of spare parts.

Results and Discussion

The conducted analysis showed that the share of downtime of dump trucks due to the lack of spare parts reaches 16 % of all unplanned downtime, which indicates the high importance of proper planning of maintenance and operational resources.

Calculations based on the proposed formulas (1) – (12) made it possible to highlight the following key patterns:

1. The total costs of the enterprise for dump truck repairs depend not only on conditionally fixed and variable expenses, but are also largely determined by additional costs for ordering, delivering, and storing spare parts, as well as by lost profits from downtime.
2. Optimization of the risk coefficient (kp) makes it possible to balance expenses: at too low a risk, surpluses of spare parts are formed, increasing storage costs; at too high a risk, downtime increases due to shortages.
3. The developed model has shown that the use of probabilistic methods (Newton's binomial theorem, Laplace's theorem, Poisson's formula) provides more accurate forecasting of the number of major overhauls of components and makes it possible to minimize the total costs of the enterprise.

4. As a result of modeling, it was established that applying this approach reduces annual costs associated with dump truck repairs by optimizing the stock structure and preventing both shortages and surpluses of spare parts.

Thus, the obtained results confirm that the proposed methodology is an effective tool for managing maintenance and operational processes in the mining industry.

List of references

1. Kvaginidze, V. S., Kozovoy, G. I., Chakvetadze, F. A., Antonov, Yu. A., & Koretsky, V. B. *Metal Structures of Mining Machines: Design, Operation, Calculation*. Moscow: «Mining Book» Publishing House, 2011, 178 p.
2. Rakhutin, M. G. Management of Spare Parts Reserve as One of the Ways to Improve the Efficiency of Mining Enterprises. *Mining Journal*, 2006, No. 12.
3. Krasnoshtanov, R. F., & Zyryanov, I. V. Technological Transport in Open Pits. *Mining Journal*, 1994, No. 9, pp. 30–33.
4. Astakhov, A. S. *Dynamic Methods for Assessing the Efficiency of Mining Production*. Moscow: Nedra, 1973, 272 p.

Information on the authors (in 3 languages):

Kuanyshbayev Zhaken Myngyrbayuly - Doctor of Technical Sciences, professor; NJSC «L.N. Gumilyov Eurasian National University», lev-49-07@mail.ru

Куанышбаев Жәкен Мыңғырбайұлы – техника ғылымдарының докторы, профессор, КЕАҚ «Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті», lev-49-07@mail.ru

Куанышбаев Жәкен Мыңғырбаевич – доктор технических наук, профессор, НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», lev-49-07@mail.ru

Ибраева Айшолпан Асылханқызы – Магистр, Ғылым және инновацияларды дамыту бөлімінің маманы «Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты» АҚ, Астана, Қазақстан Республикасы, lev-49-07@mail.ru

Ибраева Айшолпан Асылхановна – Магистр, Специалист, Департамент развития науки и инноваций, АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт», Астана, Республика Казахстан, lev-49-07@mail.ru

Ibraeva Aisholpan Asylhankyzy – Specialist of the Department of Science and Innovation Development, JSC «Kazakhstan Road Research Institute», Republic of Kazakhstan, lev-49-07@mail.ru

Капский Денис Васильевич - доктор техн. наук, профессор, Белорусский национальный технический университет (г. Минск), Белоруссия, d.kapsky@gmail.com

Капский Денис Васильевич – техника ғылымдарының докторы, профессор, Беларусь ұлттық техникалық университеті (Минск қ., Беларусь), d.kapsky@gmail.com

Kapskiy Denis Vasilevich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Belarusian National Technical University (Minsk, Belarus), d.kapsky@gmail.com

Contribution of authors (indicate the respective contribution of each author):

1. Zh.M. Kuanyshbayev – Processed the results, compared them with established findings, and summarized the outcomes.
 2. D.V.Kapskii – The materials were provided.
 3. A.A. Ibrayeva – Analyzed the data and performed computational work
- Conflict of Interest: The authors declare no conflict of interest.
Use of artificial intelligence (AI): Artificial intelligence was used to check the grammar and spelling of the text of the article.

РЕГУЛИРОВАНИЕ ПОТРЕБНОСТИ В ЗАПАСНЫХ ЧАСТЯХ ДЛЯ АВТОСАМОСВАЛОВ

Ж.М. Куанышбаев¹, А.А. Ибраева², Д.В. Капский³

¹ доктор технических наук, профессор (Евразийский Национальный университет им.Л.Н.Гумилева, Астана, Қазақстан Республикасы)

² специалист Департамента развития науки и инноваций АО «КаздорНИИ», Астана, Казахстан

³ доктор технических наук, профессор, Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь.

*Corresponding author: lev-49-07@mail.ru

Аннотация. Как известно, горнодобывающая промышленность служит сырьевой базой для развития таких крупных отраслей, как металлургия, машиностроение, энергетика, химическая промышленность и производство строительных материалов. Ремонт горнотранспортного оборудования является ключевым фактором в условиях жесткой эксплуатации, таких как ударные нагрузки, вибрация, высокая влажность, запылённость и колебания температуры, которые снижают эффективность технического обслуживания и ремонтных операций.

Поддержание работоспособного состояния техники требует строгого соблюдения системы технического обслуживания и ремонта (далее – ТОиР). Важную роль в этом процессе играет производство и рациональное использование запасных частей, что обеспечивает надёжность машин и стабильную работу предприятий. Нормирование расхода запасных частей является важнейшим фактором поддержания работоспособности техники в условиях строгих норм их использования.

Ключевые слова: горнодобывающая промышленность, автосамосвал, запасные части, ремонт, фактор риска, оптимизация затрат, простой оборудования.

АВТОСАМОСВАЛДАРҒА ҚОСАЛҚЫ БӨЛШЕКТЕРГЕ ҚАЖЕТТІЛІКТІ РЕТТЕУ

Ж.М. Қуанышбаев¹, А.А. Ибраева², Д.В. Капский³

¹ техника ғылымдарының докторы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, профессор

² «ҚазжолҒЗИ» АҚ Ғылым және инновацияларды дамыту департаментінің маманы, Астана, Қазақстан

³ техника ғылымдарының докторы, профессор, Беларусь ұлттық техникалық университеті, Минск қ., Беларусь.

*Corresponding author: lev-49-07@mail.ru

Андатпа. Белгілі болғандай, тау-кен өнеркәсібі металлургия, машина жасау, энергетика, химия өнеркәсібі және құрылыс материалдары өндірісі сияқты ірі өнеркәсіп

салаларының шикізат базасы болып табылады. Қатты пайдалану жағдайларында (соққы жүктемелері, діріл, жоғары ылғалдылық, шаңдану және температура ауытқулары) тау-кен көліктерін жөндеу техникалық қызмет көрсету мен жөндеу жұмыстарының тиімділігін төмендететін негізгі фактор болып саналады.

Техниканың жұмысқа қабілеттілігін сақтау үшін техникалық қызмет көрсету және жөндеу жүйесін (бұдан әрі – ТҚЖЖ) қатаң сақтау қажет. Бұл үдерісте қосалқы бөлшектерді өндіру және ұтымды пайдалану маңызды рөл атқарады, ол машиналардың сенімділігін және кәсіпорындардың тұрақты жұмысын қамтамасыз етеді. Қосалқы бөлшектер шығынын нормалау – оларды қатаң нормаларда пайдалану жағдайында техниканың жұмысқа қабілеттілігін қолдаудың негізгі факторы болып табылады.

Түйін сөздер: тау-кен өнеркәсібі, автосамосвал, қосалқы бөлшектер, жөндеу, тәуекел факторы, шығындарды оңтайландыру, жабдықтың бос тұруы.



Copyright: © 2025 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/>).



ОБЗОР ИННОВАЦИОННЫХ ПОДХОДОВ К ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ КАРЬЕРНОГО АВТОТРАНСПОРТА

Г.Б. Умарова ¹, Н.М. Мырзабеков ², Н.Р. Бақытжанов ^{1*}, С.С. Кабылдина ¹

¹АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт», Астана, Казахстан;

²НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», Астана, Казахстан

*Корреспондент автор: nurzhan_19-92@mail.ru

Аннотация. В обзоре рассмотрены современные инновационные решения, направленные на повышение эффективности карьерного автомобильного транспорта. Особое внимание уделено автоматизации и автономизации автопарка, внедрению электрических и гибридных приводов, а также использованию цифровых технологий мониторинга и аналитики (IoT, предиктивное техническое обслуживание). Отдельный раздел посвящён организационно-управленческим подходам и экологическим инициативам, которые позволяют комплексно улучшать работу предприятий. На основе открытых источников проведён анализ практических кейсов, включающий примеры из международного и отечественного опыта, где продемонстрированы количественные оценки влияния технологий на производительность, затраты и уровень безопасности. Рассматриваются как технические, так и социально-экономические аспекты применения инноваций. Ключевые выводы: наибольший положительный эффект достигается при синергетическом сочетании новых технических решений с цифровыми инструментами управления. В то же время остаются определённые барьеры внедрения: высокие капитальные затраты, необходимость развития инфраструктуры и подготовка квалифицированных кадров.

Ключевые слова: карьерный автотранспорт, автономизация, предиктивное техническое обслуживание, электрификация, эффективность эксплуатации.

Введение

Карьерный автомобильный транспорт обеспечивает перемещение горной массы с места добычи до места складирования или переработки и во многих горнодобывающих операциях составляет основную долю эксплуатационных затрат. Современные вызовы — рост цен на дизельное топливо, постоянно повышающиеся требования снижения выбросов, дефицит квалифицированных операторов и требования к повышению показателей технической эксплуатации — стимулируют постоянного и внимательного изучения, а также поиск и внедрение инновационных решений. В статье проводится обзор технологических направлений и оценивается их потенциал повышения эффективности [1].

Методология

Материалы для обзора были отобраны из открытых источников: пресс-релизов производителей техники, отраслевых отчётов, тематических публикаций и описаний практических примеров из отрасли. Критерии отбора включали: практическую реализуемость, наличие опытной или промышленной эксплуатации, подтверждённые показатели эффективности, такие как публичные данные о тоннаже, сокращении простоев или экономии топлив, а также новизну - отбирались публикации за последние 10 лет. Для

ключевых утверждений использованы официальные данные производителей и отчёты, доступные в сети.

Обобщение данных

Развитие автономности грузоперевозок — одна из наиболее масштабно реализуемых инноваций в горнодобывающей отрасли. Такие компании, как БелАЗ, Komatsu и Caterpillar активно включены в производство роботизированных карьерных автосамосвалов, и в настоящее время лидируют на рынке и активно набирают популярность [2].

Согласно данным Клебанов Д.А и др. около 1000 автономных карьерных автосамосвалов введены в эксплуатацию в различных местах производства в мире [3]. Наиболее популярными из них можно считать самосвалы компаний Komatsu и Caterpillar. Согласно отчетам компании Komatsu, более 750 автономных самосвалов были введены в промышленную эксплуатацию и перевезли более 10 млрд метрических тонн материала; некоторые единицы отработали свыше 100 000 автономных часов [4]. Эти внедрения демонстрируют положительное влияние на безопасность, стабильность операций и снижение износа компонентов. Аналогично, как утверждают производители Caterpillar, решения Caterpillar MineStar используются в ряде карьеров и позволяют организовать автономную работу автопарка с уменьшением холостых пробегов и простоев [5]. В то же время, можно так же отметить следующие преимущества автономных самосвалов, таких как:

- снижение риска инцидентов и травматизма за счёт исключения человеческого фактора в зонах повышенной опасности;

- сокращение холостых пробегов и более равномерная эксплуатационная нагрузка на машины, что не гарантируется пилотируемыми самосвалами в силу различий опытов водителей;

- возможность круглосуточной эксплуатации и повышения оперативной доступности парка [1].

Важно так же применение электрификации и гибридных технологий в производствах: Переход на электрические и гибридные силовые установки рассматривается как ключ к снижению эмиссий и операционных затрат.

Под гибридной силовой установкой подразумевается силовая установка, использующая несколько источников энергии для привода транспортного средства [6]. Обычно в качестве таких установок выступают двигатель внутреннего сгорания (ДВС) и электродвигатель [7].

Такие решения набирают обороты в производстве по всему миру, например, производители, включая BELAZ, представляют батарейные и гибридные модели (например, концепты и пилотные испытания BELAZ-7558E, БЕЛАЗ-7513М и других образцов) [8-9], а крупные горнодобывающие компании (Fortescue, BHP и др.) инвестируют в закупку батарейных автомобилей и инфраструктуру быстрой зарядки. На данный момент троллейбусы являются практичным промежуточным решением для участков с устойчивым профилем подъёма/спуска [10-11].

Применение данных технологий и инженерных решений, позволит добиться положительных эффектов, а именно:

- снижение расхода дизтоплива и CO₂ (в зависимости от источника электроэнергии);

- уменьшение шума и теплового воздействия;

- изменение модели технического обслуживания (батарей, силовая электроника) [8].

Вместе с этим развитие вышеупомянутых инновационных решений соответственно сопровождаются и развитием цифровых платформ, таких как IoT, телеметрия, предиктивное ТО. Системы мониторинга в режиме реального времени (телеметрия), объединённые с алгоритмами анализа больших данных и машинного обучения, позволяют прогнозировать отказные состояния (Предиктивное ТО), оптимизировать интервалы ТО и сокращать незапланированные простои. Отраслевые отчёты и кейсы показывают снижение

незапланированных простоев до 15–30% при внедрении таких систем [1, 12]. Сравнительная диаграмма эффектов технологий представлена в рис. 1.

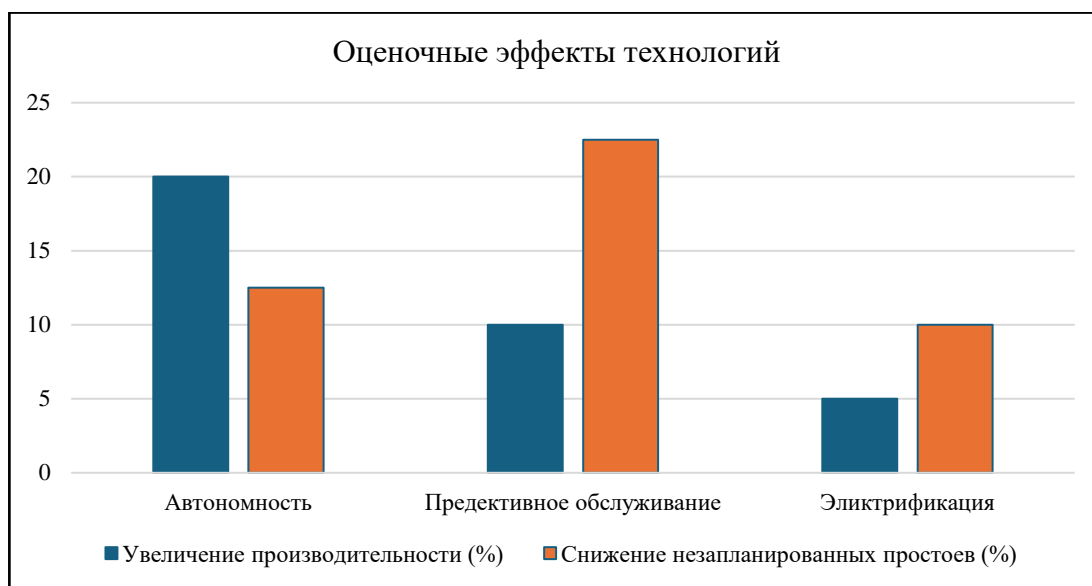


Рисунок 1 – Оценочные средние эффекты технологий (увеличение производительности и снижение незапланированных простоев)

Наряду с цифровыми решениями важную роль играют и инфраструктурные, а также организационные меры. Так, интеграция систем планирования карьера, маршрутизации и управления ресурсами (например, управления автопарком) обеспечивает оптимизацию графиков циклов перевозки и загрузки-выгрузки, уменьшение простоя погрузочной техники и повышение коэффициента использования автопарка. Параллельно требуется подготовка персонала и адаптация рабочих процессов при внедрении автономных и электрических машин [12].

Эффективность подобных решений подтверждается данными из отраслевых отчётов и реальных кейсов: на основе открытых источников можно выделить типичные диапазоны эффектов, наблюдаемых при их внедрении. Например, автономизация обеспечивает улучшение производительности и сокращение операционных потерь в пределах 10–30% в различных проектах (зависит от исходной операционной эффективности и масштаба) [1, 3–4]. Цифровое предиктивное ТО позволяет снизить незапланированные простои на 15–30% и повысить коэффициент технической готовности [1]. Электрификация дает потенциальное снижение расходов на энергию/топливо до 20% и значительное снижение локальных выбросов (при переходе с дизеля на электричество), при этом капитальные затраты и потребность в инфраструктуре остаются существенными барьерами [9, 11].

Сравнительная характеристика трёх ключевых инновационных направлений представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительная таблица

Технология	Основные преимущества	Типичное изменение производительности (%)	Снижение незапланированных простоев (%)	Экономия топлива / энергии (%)	Ключевые барьеры	Ориентировочные капитальные затраты (CAPEX)

Автономные системы (AHS)	Повышение безопасности, более равномерная загрузка оборудования, круглосуточная работа без смен	10–30	5–20	0–10	Высокая стоимость внедрения, необходимость в надёжной связи, обучение и переквалификация персонала	Высокий (несколько миллионов долларов на пилотный проект или парк машин)
Предиктивное и цифровое обслуживание	Сокращение незапланированных простоев, более эффективное планирование ремонтов	5–15	15–30	0–5	Требования к качеству данных, интеграция с ERP и системами управления флотом, стартовые вложения	Средний (ПО + датчики)
Электрификация (аккумуляторные машины, троллейбусы, гибриды)	Снижение расхода дизельного топлива и локальных выбросов, меньше шума на площадке	0–10	5–15	10–20	Инфраструктура зарядки и энергоснабжения, большой вес батарей, высокая стоимость техники	Высокий (инфраструктура + оборудование)

В кейсе Resolute (Syama) автоматизация привела к немедленному снижению себестоимости производства примерно на 15% при начальных капиталовложениях порядка десятков миллионов долларов [13].

Краткая сводка по отдельным кейсам производителей и отчётным эффектам приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Разборы кейсов

Производитель / Кейс	Ключевые факты / модели	Отчетный эффект (примерно)	Источник (в тексте статьи)
Komatsu	>750 автономных самосвалов; >10 млрд метрических тонн перевезено; milestone 2024–2025	Рост эффективности 10–30%	komatsu (2024–2025) и обзоры
Caterpillar	Запуск автономного Cat® 777 (Luck Stone Quarry); MineStar решения	Снижение холостых пробегов и простоев (вариабельно)	investors.caterpillar.com (2024)

BELAZ	Батарейные и гибридные модели (BelAZ-7558E, BelAZ-7513M); пилотные испытания	Снижение расходов на топливо до ~20% (зависит от источника энергии)	belaz.by / mybelaz (2024–2025)
Resolute (Syama)	Кейс автоматизации: снижение себестоимости ≈15% (IISD / кейс-стади)	Снижение себестоимости ≈15%	IISD / кейс (2019) и обзор

Несмотря на высокую эффективность, внедрение подобных технологий сопровождается рядом проблем и барьеров. Среди ключевых можно выделить значительные капитальные затраты — переход к автономному и электрическому парку требует вложений в технику и инфраструктуру (зарядные станции, частные сети связи, центры управления). Ограничения накладывает и инфраструктура: аккумуляторные и электрические решения зависят от доступности электропитания и быстрой зарядки; trolley-assist требует прокладки контактной сети [4, 14].

Существенным остаётся и человеческий фактор — необходима подготовка и переквалификация персонала, а также изменение процедур технического обслуживания и обеспечения безопасности. Важную роль играют регуляторные требования: адаптация технологий к местным нормам безопасности и экологии может потребовать времени и дополнительных затрат. Наконец, экономическая неопределённость связана с зависимостью сроков окупаемости от стоимости топлива, тарифов на электроэнергию и масштаба проекта [1].

Обсуждение

Сопоставление технологий показывает, что наибольший синергетический эффект достигается при комбинированном внедрении: автономизация + цифровая аналитика + частичная или полная электрификация. Автономные системы повышают стабильность и безопасность операций, цифровые платформы уменьшают незапланированные простои, а электрификация снижает переменные энергетические расходы и экологический след. В то же время полная трансформация возможна не для всех карьеров: наиболее подходящие объекты — крупные горнодобывающие предприятия с устойчивыми транспортными профилями и доступом к энергетической инфраструктуре [4, 11].

Рекомендации для внедрения

1. Пилотирование — начать с небольших пилотных проектов (автономные «кольца», trolley-assist на ключевых подъёмах, пилотные батарейные грузовики).
2. Инфраструктурное планирование — заранее проектировать зарядную сеть и коммуникации (включая частную 5G/радиосети) [4].
3. Модернизация ТО — внедрять предиктивное обслуживание и обучать персонал новым процедурам.
4. Оценка окупаемости — моделировать операционные расходы и сценарии цен на энергоносители для обоснования инвестиций.
5. Комплексный подход — сочетать технологии (техника + софт + организация), а не поштучные решения.

Выводы

Современные инновации (автономизация, электрификация, цифровая аналитика) уже доказали свою применимость и дают измеримый эффект: повышение производительности, снижение простоев, улучшение безопасности и потенциал для снижения углеродного следа. Однако успешное масштабирование требует значительных инвестиций, развития инфраструктуры и адаптации организационных процессов. При стратегическом и поэтапном внедрении комбинация указанных технологий способна обеспечить устойчивое улучшение эффективности карьерного автомобильного транспорта [4-5, 9, 13].

Список литературы

1. Bird D. Autonomous Mining Equipment: May 2019 Report // RF Cambrian. URL: <https://www.rfcambrian.com/wp-content/uploads/2019/04/RFCA-NTI-Report-2-Autonomous-Mining-Equipment-May-2019.pdf>.
2. Хазин Марк Леонтьевич (2020). Роботизированные Карьерные Самосвалы. Известия Уральского государственного горного университета, (3 (59)), 123-130.
3. Клебанов Д. А., Макеев М. А., Сиземов Д. Н. Применение автономной и дистанционно-управляемой техники на открытых горных работах // Горная промышленность. – 2020. – №. 6. – С. 14-18.
4. Komatsu achieves major autonomous milestones. URL: <https://www.komatsu.com/en-us/newsroom/2024/komatsu-achieves-major-autonomous-milestones>
5. Caterpillar Paves the Way for Future Technology Advancements with Launch of Autonomous Cat® 777 Off-Highway Truck at Luck Stone Quarry. URL: <https://investors.caterpillar.com/news/news-details/2024/Caterpillar-Paves-the-Way-for-Future-Technology-Advancements-with-Launch-of-Autonomous-Cat-777-Off-Highway-Truck-at-Luck-Stone-Quarry/default.aspx>
6. Шишкина П. А. Аналитическое исследование гибридных автомобилей с точки зрения экологии и эксплуатации // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2022. – №. 12. – С. 256-258
7. Гусаков С. В., Марков В. А., Афанасьева И. В. Улучшение эксплуатационных показателей транспортных средств при использовании гибридных силовых установок // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2012. – №. 2. – С. 32-41.
8. Мировая премьера БЕЛАЗ - уникальный гибридный карьерный самосвал БЕЛАЗ-7513М. URL: <https://www.mybelaz.ru/info/news/mirovaya-premera-belaz-unikalnyy-gibridnyy-karernyy-samosval-belaz-7513m/>.
9. Electrification and environmental friendliness to a new level: BELAZ presented two new dump trucks with an emphasis on green technologies. URL: <https://belaz.by/en/press-centre/electrification-and-environmental-friendliness-to-a-new-level-belaz-presented-two-new-dump-trucks-wi/>.
10. Khazin M. L. et al. Directions of career transport development // Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering. – 2021. – T. 21. – №. 3. – С. 144-150. The Australian
11. Fortescue signs US\$2.8 billion green equipment partnership with Liebherr for zero emission mining solutions. URL: <https://www.fortescue.com/en/articles/fortescue-signs-us-28-billion-green-equipment-partnership-with-liebherr>
12. Making the most of autonomous mining system - Polymathian. URL: <https://polymathian.com/en/news-media/blogs/making-the-most-of-autonomous-mining-system/>
13. Ramdoo I. Automation and water-saving technologies / I. Ramdoo. – Winnipeg: International Institute for Sustainable Development (IISD), 2019. – URL: <https://www.iisd.org/system/files/publications/igf-case-study-water-techologies.pdf#page=11.31>

14. Serious work front: 130-tone hybrid-truck dump sent for the pilot testing in Sitnitsa.
URL: <https://belaz.by/en/press-centre/serious-work-front-130-tone-hybrid-truck-dump-sent-for-the-pilot-testing-in-sitnitsa/>.

Сведения об авторах (на трех языках):

Умарова Гүлжамал Бақтиярқызы – техника ғылымдарының кандидаты, «Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты» АҚ, Астана, Қазақстан, g.umarova@qazjolgzi.kz

Умарова Гулжамал Бахтияровна – кандидат технических наук, АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт, Астана, Казахстан, g.umarova@qazjolgzi.kz

Umarova Gulzhamal Bakhtiyarovna – Candidate of Technical Sciences, JSC «Kazakhstan Road Research Institute», Astana, Kazakhstan, g.umarova@qazjolgzi.kz

Мырзабеков Нұрлыбек Мырзабекұлы – магистр, докторант «Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті» КеАҚ, Астана, Қазақстан, nurlybekmyrzabekov@mail.ru

Мырзабеков Нурлыбек Мырзабекович – магистр, докторант НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, nurlybekmyrzabekov@mail.ru

Myrzabekov Nurlybek Myrzabekuly – Master's degree, doctoral student, NJSC «L.N. Gumilyov Eurasian National University», Astana, Kazakhstan, nurlybekmyrzabekov@mail.ru

Бақытжанов Нұржан Рахымжанұлы - магистр, «Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты» АҚ, Астана, Қазақстан, nurzhan_19-92@mail.ru

Бақытжанов Нұржан Рахымжанұлы – магистр, АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт, Астана, Казахстан, nurzhan_19-92@mail.ru

Bakhytzhanov Nurzhan Rakhymzhanuly – Master's degree, JSC «Kazakhstan Road Research Institute», Astana, Kazakhstan, nurzhan_19-92@mail.ru

Кабылдина Сауле Сағытаевна – инженер-маман, «Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты» АҚ, Астана, Қазақстан, s.kabyldina@qazjolgzi.kz

Кабылдина Сауле Сагитаевна – инженер-специалист, АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт», Астана, Казахстан, s.kabyldina@qazjolgzi.kz

Kabildina Saule Sagitaevna – specialist engineer, JSC «Kazakhstan Road Research Institute», Astana, Kazakhstan, s.kabyldina@qazjolgzi.kz

Вклад авторов:

Умарова Г.Б. - концепция, методология, ресурсы;

Мырзабеков Н.М.- концепция, методология, ресурсы, сбор данных, анализ;

Бақытжанов Н.Р. - ресурсы, сбор данных, подготовка текста, редактирование;

Кабылдина С.С. - сбор данных, анализ, подготовка текста, редактирование.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Использование искусственного интеллекта (ИИ): ИИ использовался при поиске дополнительной информации, а также для проверки грамматических и стилистических ошибок.

КАРЬЕРЛІК АВТОКӨЛІК ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУДЫҢ ИННОВАЦИЯЛЫҚ ТӘСІЛДЕРІНЕ ШОЛУ

**Г.Б. Умарова¹, Н.М. Мырзабеков², Н.Р. Бақытжанов^{1*},
С.С. Кабылдина¹**

¹«Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты» АҚ, Астана, Қазақстан;

²«Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті» Коммерциялық акционерлік қоғам, Астана, Қазақстан;

Аннотация. Шолуда карьерлік автомобиль көлігінің тиімділігін арттыруға бағытталған заманауи инновациялық шешімдер қарастырылды. Автопаркті автоматтандыру мен автономизациялауға, электр және гибриді жетектерді енгізуге, сондай-ақ мониторинг пен талдаудың цифрлық технологияларын (IoT, болжамды техникалық қызмет көрсету) пайдалануға ерекше назар аударылады. Жеке бөлім кәсіпорындардың жұмысын жан-жақты жақсартуға мүмкіндік беретін ұйымдастырушылық және басқарушылық тәсілдер мен экологиялық бастамаларға арналған. Ашық көздер негізінде халықаралық және отандық тәжірибеден алынған мысалдарды қамтитын практикалық жағдайларға талдау жүргізілді, онда технологиялардың өнімділікке, шығындарға және қауіпсіздік деңгейіне әсерін сандық бағалау көрсетілді. Инновацияларды қолданудың техникалық және әлеуметтік-экономикалық аспектілері қарастырылады. Зерттеудің негізгі қорытындылары жаңа техникалық шешімдерді цифрлық басқару құралдарымен синергетикалық біріктіру арқылы оң нәтижеге қол жеткізілетінін көрсетеді. Сонымен қатар, енгізудің белгілі бір кедергілері де бар, олар: аса күрделі шығындар, инфрақұрылымды дамыту қажеттілігі және білікті кадрларды даярлау.

Түйінді сөздер: карьерлік автокөлік; автономизация; болжамды техникалық қызмет көрсету; электрлендіру; пайдалану тиімділігі.

AN OVERVIEW OF INNOVATIVE APPROACHES TO IMPROVING THE EFFICIENCY OF CAREER VEHICLES

G.B. Umarova¹, N.B. Myrzabekov², N.R. Bakytzhanov^{1*},
S.S. Kabyldina¹

¹JSC «Kazakhstan Road Research Institute», Astana, Kazakhstan;

² NJSC «L.N. Gumilyov Eurasian National University», Astana, Kazakhstan

*Correspondent author: nurzhan_19-92@mail.ru

Annotation. The review examines modern innovative solutions aimed at improving the efficiency of career motor transport. Special attention is paid to the automation and autonomy of the fleet, the introduction of electric and hybrid drives, as well as the use of digital monitoring and analytics technologies (IoT, predictive maintenance). A separate section is devoted to organizational and managerial approaches and environmental initiatives that make it possible to comprehensively improve the work of enterprises. Based on open sources, an analysis of practical cases has been conducted, including examples from international and domestic experience, which demonstrate quantitative assessments of the impact of technology on productivity, costs and security. Both technical and socio-economic aspects of the application of innovations are considered. The key findings of the study show that the greatest positive effect is achieved with a synergistic combination of new technical solutions with digital management tools. At the same time, there are still certain barriers to implementation: high capital costs, the need for infrastructure development and the training of qualified personnel.

Keywords: Career vehicles; autonomization; predictive maintenance; electrification; operational efficiency.



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН БИТУМНЫҢ ЖАСАНДЫ ҚАРТАЙҒАННАН КЕЙІНГІ ПЕНЕТРАЦИЯСЫН БАҒАЛАУ

<https://orcid.org/0009-0007-3988-8915> **А. Д. Серик**^{1,*}, <https://orcid.org/0000-0002-0845-2584> **А. М. Қожахмет**¹,
<https://orcid.org/0009-0008-7498-1258> **Ұ. А. Шангерей**¹

¹«Өнеркәсіптік және азаматтық құрылыс технологиясы» кафедрасы, «Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті» Коммерциялық акционерлік қоғам, Астана, Қазақстан

*Корреспондент автор: almiraserik03@mail.ru

Аннотация. Мақалада модификацияланған битумдардың консистенциясының RTFOT (Rolling Thin Film Oven Test) әдісімен жасанды қартаюдан кейінгі өзгерістері зерттеледі. Зерттеудің мақсаты – битум пенетрациясын қартаюға дейінгі және кейінгі жағдайларда бағалау, сондай-ақ алынған көрсеткіштердің жоғары маркалы битумдарға сәйкестігін анықтау. Жұмыста 50/70 маркалы битумдардың термиялық тұрақсыздығы және оны модификаторлар енгізу арқылы жақсарту мәселесі қарастырылады. Зертханалық сынақтар СТ РК 1226-2003 стандартына сәйкес, 0 °C және 25 °C температурада орындалды. Зерттеу нәтижелері бойынша қартаюдан кейінгі модификацияланған битум үлгілері жоғары қалдық пенетрация мәндерін ($51,20 \times 0,1$ мм) көрсетті, бұл олардың 70/100 маркалы битумдармен салыстыруға келетінін дәлелдейді. Сонымен қатар, өлшемдердің тұрақтылығы мен қайталанғыштығы да расталды. Алынған нәтижелер Қазақстанның күрт континенттік климат жағдайында сапалы жол жамылғыларын қамтамасыз етуге және отандық битум ресурстарын тиімді пайдалануға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: битум пенетрациясы, RTFOT қартаюы, модификацияланған битум, температуралық тұрақтылық, 50/70, 70/100, жол жамылғысы.

Кіріспе

Қазақстандағы автомобиль жолдарын пайдаланудың қазіргі жағдайлары жол құрылысына қолданылатын материалдардың сапасы мен ұзақ мерзімділігіне жоғары талаптар қояды. Асфальтобетон жабындарының негізгі құрамдас бөліктерінің бірі — мұнай жол битумы; оның қасиеттеріне жабынның суға төзімділігі, пластикалығы, деформацияға және қартаюға тұрақтылығы тікелей байланысты.

Алайда, ұзақ мерзімді пайдалану барысында жоғары температура, оттегі, ультракүлгін сәуле және механикалық кернеу әсерінен битум физико-химиялық өзгерістерге ұшырап, оның реологиялық және пайдалану қасиеттері нашарлайды. Мұндай өзгерістердің негізгі көрсеткіші — пенетрация, яғни стандартты жағдайларда (25 °C температура, 100 г салмақ, 5 секунд уақыт) ине битумға қаншалықты терең енетінін өлшейтін шамасы. Бұл битумның консистенциясын және пластикалығын көрсетеді. Қартаю үдерісінде пенетрация төмендеген сайын битум сынғыш болып, жарықтар түзіледі және жабын ерте бұзылады.

Қазіргі тәжірибе көрсеткендей, әсіресе отандық өндірістегі төмен тұтқырлықтағы битумдар тез қартаюға бейім, сондықтан оның серпімділігін сақтау және қажетті сипаттамаларын қамтамасыз ету үшін қосымша модификациялаушы қоспалар қолдануды талап етеді.

Әлемдік және отандық ғылыми әдебиеттерде битумның қартаю мәселелері кеңінен талданады. Әсіресе, американдық және еуропалық зерттеушілердің еңбектерінде битумның тотығуға төзімділігін арттыру жолдары — полимерлерді, резеңке үгіндісін, беттік-белсенді заттарды және термостабилдеуші қоспаларды пайдалану арқылы — белсенді қарастырылады. Дегенмен, өндірушілер мен партиялар бойынша битум қасиеттерінің тұрақсыздығы, зертханалық қартаюдан кейінгі пенетрация мәндерінің қатты шашыраңқылығы, халықаралық техникалық талаптарға сәйкес келмеуі сияқты мәселелер ерекше атап өтіледі.

Осындай кең көлемдегі зерттеулерге қарамастан, модификацияланған битумның пенетрация мәнінің жоғары маркалы стандарттарға сәйкестігі мен тұрақтылығын, сондай-ақ модификацияланған төмен тұтқырлықтағы битумдардың қалдықтық пенетрациясының 70/100 маркалы битум параметрлеріне қаншалықты жақындайтынын толық және нақты анықтау мәселелері өз шешімін таппай келеді.

Битумды модификациялау саласында жинақталған ғылыми және қолданбалы әлеуетке қарамастан, қартаю факторларының әсерінен кейін пенетрация көрсеткіштерінің тұрақтылығын жүйелі түрде бағалау қажеттілігімен байланысты ғылыми олқылықтар әлі де бар. Бұл, әсіресе, пенетрацияның жақсаруының дәлдігін растауға мүмкіндік беретін вариация коэффициенттерін талдаумен үйлескенде, RTFOT (Rolling Thin Film Oven Test) әдісі бойынша жасанды қартаюдан соң өзекті. Аталған зерттеу, әсіресе, Қазақстан Республикасының жол құрылысында экологиялық және тозуға төзімді материалдарға көшу аясында ерекше маңызды деп есептеледі, өйткені экстремалды климаттық жағдайда битум сапасы жабынның пайдалану ұзақтығын айқындайтын негізгі фактор болып табылады.

Сондықтан битумды жасанды қартаюға дейін және кейін пенетрациясын бағалау, сондай-ақ оның модификациялану деңгейін, эластикалығы мен консистенциясының жоғалуын болдырмау мақсатында анықтау — ғылыми ізденістің қисынды әрі өзекті бағытын құрайды.

Осы зерттеудің мақсаты — битумның түріне және модификациялаушы қоспалардың болуына байланысты RTFOT камерасында қартаюға дейінгі және кейінгі пенетрациясының өзгерісін сандық тұрғыда бағалау. Ерекше назар битумның қалдықтық пенетрациясын жоғары маркалы битумдар нормативтерімен салыстыруға, оның мақсатты мәндерге қаншалықты жақындайтынын анықтауға, сондай-ақ эксперименттік нәтижелердің тұрақтылығын статистикалық талдауға (вариация коэффициенті, ауытқу ауқымы) аударылады. Бұл төмен тұтқырлықтағы битумдарды модификациялаудың тиімділігі туралы негізделген қорытынды жасауға мүмкіндік береді.

Әдістеме

Зерттеудің мақсаты — битумның консистенциясының жасанды қартаюға дейін және кейін 0 °C және 25 °C температурада қалай өзгертінін сандық тұрғыда бағалау болды. Бұл бағалау битумның физика-механикалық қасиеттерін сипаттайтын негізгі көрсеткіштердің бірі — пенетрацияны талдау негізінде жүргізілді. Зерттеу барысында төмен маркалы битумдар (50/70), қосымша модификациялаушы қоспалармен өңделген битумдар және әртүрлі өндірушілердің жоғары маркалы битумдары (70/100) қарастырылды.

Сынақтар қолданыстағы ұлттық стандарттарға сәйкес жүргізілді:

- СТ РК 1218-2024 «Жол және аэродром құрылысына арналған органикалық байланыстырушы негізіндегі материалдар»[2];

- СТ РК 1226-2003 «Битумдар және битумды байланыстырушылар. Қыздыру және ауа әсеріне тұрақтылығын анықтау әдістері»[3] — пенетрация өлшеу әдістемесін реттейтін негізгі стандарт болып табылады.

Эксперимент жүргізу процедурасы

А)Қартаюға дейінгі және кейінгі пенетрацияны анықтау
Пенетрация — стандартты иненің битумға 100 г жүктемемен, 0 °C және 25 °C

температурада 5 секунд ішінде ену тереңдігі. Бұл көрсеткіш сынақтан өткізілетін битумның тұтқыр-пластикалық қасиеттерінің қалдықты өзгерісін бағалау мақсатында RTFOT қондырғысында қартаюға дейін де, кейін де анықталды.

Сынақтар келесі алгоритм бойынша жүргізілді:

1. Битум үлгілері 105 ± 5 °C температураға дейін термостатты ваннада қыздырылып, стандартты пенетрациялық қалыптарға құйылды.

2. Сынақтар 0 °C және 25 °C температурада жүргізілді. Температуралық режимдер термокамера арқылы $\pm 0,5$ °C-тан аспайтын ауытқумен қамтамасыз етілді.

3. Өлшеулер тік бағытта жұмыс істейтін, цифрлық индикаторы бар пенетрациялық машинада жүргізілді. Әр температуралық топта әр үлгіге 3 рет өлшеу жасалды.

4. Әр өлшеу жиынтығы нәтижесінде есептелді:

- пенетрацияның орташа арифметикалық мәні (дәлдігі 0,1 мм-ге дейін),
- вариация коэффициенті,
- жеке мәндердің ауытқу ауқымы.

Рұқсат етілген айырмашылықтар [СТ РК 1226-2003] стандартына сәйкес орнатылған:

- бір үлгінің шегінде жеке мәндердің сәйкес келу айырмасы $2 \times 0,1$ мм-ден немесе орташа мәnniң 4%-ынан аспауы керек;

- әр түрдің 5 үлгісінен тұратын серия үшін рұқсат етілген қайталанғыштық — $7 \times 0,1$ мм-ден немесе орташа мәnniң 20%-ынан аспауы керек.

Б) Битумды жасанды қартаю

Битумды қартаюын имитациялау Rolling Thin Film Oven Test (RTFOT) әдісі бойынша СТ РК 1224-2003 стандартына сәйкес жүргізілді:

Әр сынақ сериясына массасы 35–50 г болатын 5 үлгі дайындалып, олар айналмалы колбаның (RTFOT-барабан) ішкі қабырғаларына жұқа қабатпен (≤ 1 мм) жағылды.

Қартаю камерасы 163 ± 1 °C температураға дейін қыздырылды. Жылу әсерінің ұзақтығы — 75 ± 1 минут.

Барабан тұрақты $0,25 \pm 0,003$ айн./сек ($15,0 \pm 0,2$ айн./мин) жылдамдықпен айналып тұрды, ал ауа ағымы тұрақты 4000 ± 200 мл/мин берілді. Мұндай параметрлер битум қабатының қозғалғыштығы мен бетін біркелкі тотығуын қамтамасыз етеді.

Қартаю аяқталғаннан кейін үлгілер салқындатылып, қартаюға дейінгі сынақтармен бірдей жағдайларда қайта өлшенді.

Деректерді сандық талдау

Әр үлгіге келесі көрсеткіштер есептелді:

- орташа пенетрация мәні (P_0 — қартаюға дейін, P_{25} — қартаюдан кейін),
- әр үлгінің шегіндегі вариация коэффициенті (3 өлшем бойынша),
- бір типті битумның 5 үлгісі арасындағы қайталанғыштық.

Сондай-ақ статистикалық талдау жүргізілді:

- пенетрацияның пайыздық жоғалуы келесі формула бойынша есептелді:

$$\Delta P = ((P_0 - P_{25}) / P_0) \times 100\%$$

- таңдамадағы орташа мәндердің ауытқуы;

- вариация коэффициенті 12% - ға дейін болған жағдайда, сенімділік аралығы анықталды.

Нәтижелер және талқылау

Модификацияланған және модификацияланбаған битумдардың пенетрациясын бағалау зертханалық қартаюға дейін және кейін 0 °C және 25 °C температуралық режимдерде жүргізілді. Әр үлгі бір серия ішінде үш рет ($n=3$) сыналды, бұл бір таңдама ішіндегі өлшеу дәлдігін, сондай-ақ бір типті бес үлгі ($n=5$) арасында қайталанғыштықты бағалауға мүмкіндік берді.

1- кестеде көрсетілгендей, қартаюдан кейін 25 °C температурадағы барлық жеке пенетрация мәндері ($P_{(25)}$) СТ РК 1226-2003 стандартымен белгіленген рұқсат етілген

шектерде — орташа мәннен ± 4 % немесе $2 \times 0,1$ мм-ден аспады. Бір топтағы вариация коэффициенттері (үш өлшем бойынша) 1,72-ден 2,82 %-ға дейінгі диапазонда болды.

1 кесте – Қартаюдан кейінгі пенетрацияны анықтау нәтижелері және статистикалық параметрлер

Битум түрі	Ауқымы $\times 0.1$ мм P_{25}	Орташа мәні P_{25}	Вариация коэффициенті (%)	Жаңғыртылуы (%)
1 тип (50/70 маркасы)	37.00 – 39.00	38.00	2.71	4.84
2 тип (70/100 маркасы)	54.00 – 56.00	55.00	2.09	2.81
3 тип (70/100 маркасы)	63.67 – 66.00	64.70	1.82	1.72
4 тип (70/100 маркасы)	64.00 – 66.00	65.00	2.01	1.86
5 тип (70/100 маркасы)	64.33 – 67.00	65.33	1.76	2.10
6 тип (70/100 маркасы)	53.33 – 57.33	55.80	2.09	3.41
7 тип (70/100 маркасы)	54.67 – 58.00	56.33	2.12	2.44
8 тип (70/100 маркасы)	45.00 – 48.33	46.90	2.39	3.02
9 тип (модиф. 50/70 маркасы)	50.33 – 52.00	51.20	2.28	3.01

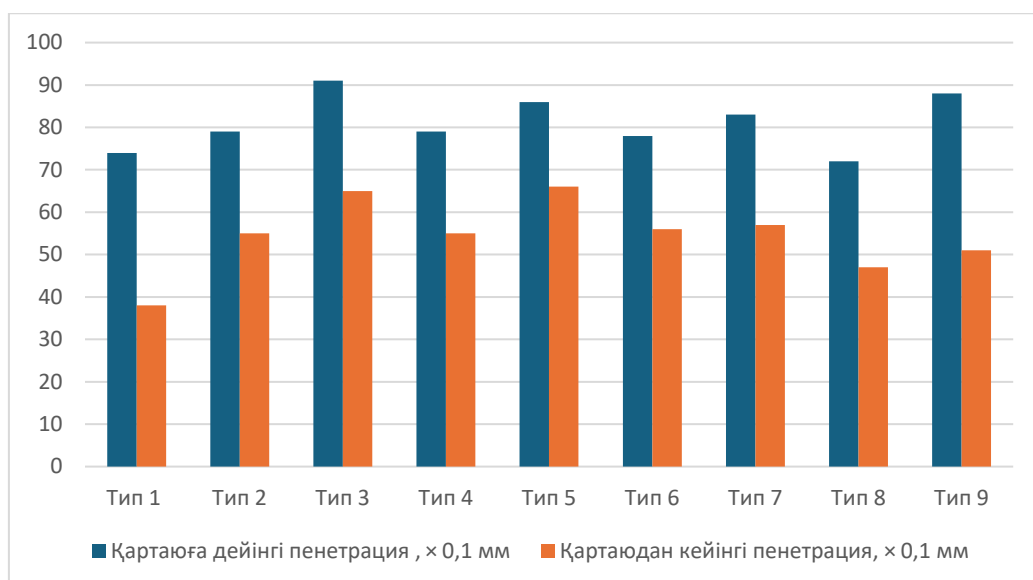
Деректер әр үлгінің шегінде жеке өлшеулердің жоғары сәйкестігін, сондай-ақ бір типті үлгілер арасындағы қолайлы қайталанғыштықты көрсетеді және бұл көрсеткіштер нормативтерге ($7 \times 0,1$ мм-ден немесе орташа мәннің 20 %-нан аспауы тиіс) сәйкес келеді.

Қалдықтық пенетрацияны жоғары маркалы битумдар нормативтерімен салыстыру

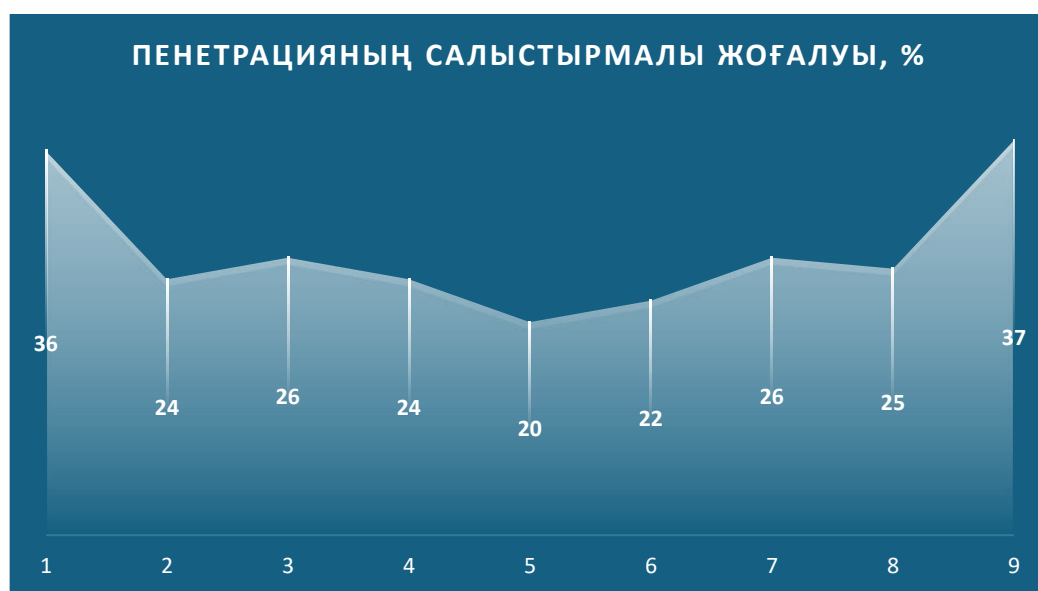
Бақылау тобы ретінде әртүрлі өндірушілердің 70/100 маркалы битумдары пайдаланылды. Осы топ бойынша қалдықтық пенетрацияның (P_{25}) орташа мәні $57,13 \pm 6,5 \times 0,1$ мм болды, ал вариация коэффициенті — 12 %. Бұл мән нормативтік аралық ретінде қабылданды.

Модификацияланған 50/70 маркалы битум үлгілері термиялық-тотығу қартаюынан кейін $51,20 \times 0,1$ мм қалдықтық пенетрация көрсетті. Нәтижелердің вариациясы 2,28% шегінде болғандықтан, бұл үлгілерді жоғары маркалы битумдар класына жатқызуға болады.

1-суретте битумдардың 1–9 типтері бойынша қартаюға дейінгі және кейінгі орташа пенетрация мәндері көрсетілген.



Сурет 1 – Пенетрацияның қартаюға дейінгі және кейінгі өзгеру динамикасы



Сурет 2 – Пенетрацияның салыстырмалы жоғалуы, %

Талдау нәтижесінде мынадай қорытындылар жасалды:

- Пенетрацияның ең жоғары жоғалуы — 36 – 37 % — төмен маркалы битумдарда (1 тип), сондай-ақ олардың модификацияланған нұсқасында (9-тип) ішінара байқалды.
- Ең төменгі жоғалту — 20 % — жоғары маркалы битумдарда (5-тип) тіркелген.
- Басқа типтер бойынша жоғалту 22% - дан 26 % - ға дейін болды.

Пенетрациялық сынақтар 50/70 битумын модификациялау қартаюдан кейін оның қалдық консистенциясын жоғары маркалы 70/100 битум деңгейіне жақындатуға мүмкіндік беретінін көрсетті. Барлық үлгілер бойынша вариация коэффициенттері нормативтік мәндерден аспады. Қартаюдан кейінгі пенетрациядағы жоғалтулардың мәні рұқсат етілген шектерде, бұл модификацияланған битумның термиялық тұрақтылығы мен жұмысқа жарамдылығының артқанын дәлелдейді.

Қорытынды

RTFOT камерасында қартаюдан кейін модификацияланған битумның пенетрациясын бағалау бойынша жүргізілген зерттеулер битумды байланыстырғыштардың физика-механикалық қасиеттерінің тұрақтылығын арттыру үшін модификациялаушы қоспаларды қолданудың тиімділігін дәлелдейтін маңызды ғылыми нәтижелер алуға мүмкіндік берді.

Алынған тәжірибелік деректерді талдау көрсеткендей, термиялық-оксидтік қартаюдан кейінгі 50/70 маркалы модификацияланған битум үлгілері $51,20 \times 0,1$ мм деңгейінде қалдық пенетрация көрсетті, бұл 2,28 % вариация коэффициенті кезінде оларды 70/100 жоғары маркалы битумдар қатарына жатқызуға мүмкіндік береді. Статистикалық талдау нәтижелердің қайталанғыштығының жоғары екенін растады: барлық жеке пенетрация мәндері СТ РК 1226-2003 бойынша (± 4 % немесе $2 \times 0,1$ мм) нормативтік ауытқу аясында болды, ал вариация коэффициенттері 2,82 %-дан аспады.

Зерттеу нәтижелерінің Қазақстанның жол-құрылыс саласы үшін маңызды практикалық мәні бар. Төмен маркалы 50/70 битумын модификациялау арқылы оның қасиеттерін жоғары марка 70/100 битум көрсеткіштеріне жақындату мүмкіндігі төмендегідей перспективаларға жол ашады:

- Жол құрылысына арналған шикізат базасын кеңейту, яғни модификациялаудан кейінгі жақсартылған сипаттамалары бар қолжетімді битумдарды пайдалану;
 - Қазақстанның күрделі климаттық жағдайларында жол жабындарының ұзақ мерзімділігін арттыру, мұнда битум сапасы пайдалану сенімділігінің шешуші факторы болып табылады;
 - Қартаюға дейінгі және кейінгі пенетрацияны анықтаудың сынақтан өткен әдістемелері негізінде модификацияланған битумдардың сапасын бақылау әдістерін стандарттау;
 - Импорттық, тапшы байланыстырғыш материалдарды қолдану шығындарын азайту, яғни битумды төсеу орнында жергілікті модификациялау арқылы шығындарды қысқарту.
- Осылайша, қартаюдан кейінгі модификацияланған битумның пенетрациясын бағалау бұл технологияның жол құрылысына тиімділігін анықтауға мүмкіндік берді және модификатор түрінің байланыстырғыштың ұзақмерзімділігі мен мақсатты класына әсерін терең зерттеуге негіз қалады.

Әдебиеттер тізімі

1. Xiao, F., Amirkhanian, S., & Shen, J. (2015). Effects of long-term aging on rheological properties of rubberized asphalt binders. *Journal of Materials in Civil Engineering*.
2. European Asphalt Pavement Association (EAPA). Best practices in bitumen modification, 2020.
3. ҚР СТ 1218-2024 «Жол және аэроалаң құрылыстарына арналған органикалық тұтқырғыштар негізіндегі материалдар. Сынау әдістері».
4. ҚР СТ 1226-2003 «Битумдар және битум тұтқырғыштар. Иненің өту тереңдігін анықтау әдісі».
5. Министерство индустрии и инфраструктурного развития РК. Отчеты по производству и применению битумов, 2024.
6. ҚР СТ 1373-2013 «Битум және тұтқыр. Битумдар жолға арналған түрлендірілген мұнай битумдары. Техникалық шарттар».
7. ҚР СТ 1225-2019 «Асфальт-бетон жол, әуежай және асфальт-бетон қоспалары Техникалық шарттар».
8. ҚР СТ 2028-2010 «Жол жабындарына арналған түрі өзгертілген резеңке үгіндісі бар асфальтобетон. Техникалық талаптар».

Авторлар туралы мәліметтер (үш тілде):

Серик Альмира Дауренқызы – магистрант, «Өнеркәсіптік және азаматтық құрылыс технологиясы» кафедрасы, КЕАҚ «Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті», Астана, Қазақстан, almiraserik03@mail.ru

Серик Альмира Дауренқызы – магистрант, Кафедра «Технология промышленного и гражданского строительства», НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», Астана, Казахстан, almiraserik03@mail.ru

Serik Almira Daurenkyzy - master's student, Department of Industrial and Civil Engineering Technology, NJSC «L.N. Gumilyov Eurasian National University», Astana, Kazakhstan, almiraserik03@mail.ru

Қожахмет Ару Мейрамқызы – магистр, ТОО «НТС-Казакстан», Астана, Қазақстан, arukozhahmet@mail.ru

Қожахмет Ару Мейрамқызы – магистр, ТОО «НТС-Казакстан», Астана, Казахстан, arukozhahmet@mail.ru

Kozhakhmet Aru Meiramlyzy – master, LLP «NTS-Kazakhstan», Astana, Kazakhstan, arukozhahmet@mail.ru

Шангерей Уран Арысулы – магистрант, «Өнеркәсіптік және азаматтық құрылыс технологиясы» кафедрасы, КЕАҚ «Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті», Астана, Қазақстан, shangereyu@bk.ru

Шангерей Ұран Арысулы – магистрант, Кафедра «Технология промышленного и гражданского строительства», НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», Астана, Казахстан, shangereyu@bk.ru

Shangerey Uran Arysuly - master's student, Department of Industrial and Civil Engineering Technology, NJSC «L.N. Gumilyov Eurasian National University», Astana, Kazakhstan, shangereyu@bk.ru

Авторлардың үлесі:

Серик А.Д. – ғылыми тұжырымдаманы әзірлеу, зерттеу нәтижелерін талдау және мақала мәтінін дайындау.

Қожахмет А.М. – эксперименттерді жүргізу, мәліметтерді жинау және талдау, кестелер мен графиктерді рәсімдеу.

Шангерей Ұ.А. – зерттеулерді практикалық іске асыру, деректерді статистикалық өңдеу, нәтижелерді келісу және мақаланы рецензиялау

ОЦЕНКА ПЕНЕТРАЦИИ МОДИФИЦИРОВАННОГО БИТУМА ПОСЛЕ СОСТАРИВАНИЯ

<https://orcid.org/0009-0007-3988-8915>  **А.Д. Серик** ^{1,*}, <https://orcid.org/0000-0002-0845-2584>  **А.М. Қожахмет** ²,
<https://orcid.org/0009-0008-7498-1258>  **Ұ.А. Шангерей** ¹

¹ Кафедра «Технология промышленного и гражданского строительства», НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», Астана, Казахстан

² ТОО «НТС-Казакстан», Астана, Казахстан

*Корреспондент автор: almiraserik03@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена исследованию изменения консистенции битумных вяжущих после искусственного старения с использованием метода Rolling Thin Film Oven Test (RTFOT). Целью исследования является оценка пенетрации модифицированных битумов до и после состаривания, а также установление соответствия показателей требованиям, предъявляемым к битумам высоких марок. В работе рассматривается проблема термической нестабильности традиционных битумов марки 50/70 и возможности её компенсации путём ввода модифицирующих добавок. Исследования выполнены с

применением стандартов СТ РК 1226-2003, в температурных диапазонах 0 °С и 25 °С. Установлено, что модифицированные образцы после состаривания демонстрируют высокий уровень остаточной пенетрации ($51,20 \times 0,1$ мм), что приближает их к характеристикам битумов марки 70/100. Также подтверждена стабильность и воспроизводимость измерений. Полученные данные обладают высокой практической значимостью для дорожно-строительной отрасли, так как позволяют расширить сырьевую базу и повысить надёжность асфальтобетонных покрытий в условиях резко континентального климата Казахстана.

Ключевые слова: пенетрация битума, старение RTFOT, модифицированный битум, температурная стабильность, 50/70, 70/100, дорожные покрытия.

ASSESSMENT OF PENETRATION OF MODIFIED BITUMEN AFTER AGING

<https://orcid.org/0009-0007-3988-8915>  **A.D Serik**^{1,*}, <https://orcid.org/0000-0002-0845-2584>  **A.M. Kozhakhmet**²,
<https://orcid.org/0009-0008-7498-1258>  **U.A. Shangerey**¹

¹ Department of Industrial and Civil Engineering Technology, NJSC «L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan»

² LLP «NTS-Kazakhstan», Astana, Kazakhstan

* Corresponding author: almiraserik03@mail.ru

Abstract. The article explores changes in the consistency of modified bituminous binders after artificial aging using the Rolling Thin Film Oven Test (RTFOT) method. The aim of the study is to assess the penetration values of modified bitumen before and after aging, as well as to determine their compliance with the requirements of high-grade binders. The research addresses the issue of thermal instability inherent in traditional 50/70 bitumen and examines the potential for improving performance through the use of modifying additives. Laboratory tests were conducted in accordance with ST RK 1226-2003 at two temperatures: 0 °C and 25 °C. The results demonstrated that the modified samples retained a high level of residual penetration (51.20×0.1 mm) after aging, bringing them close in characteristics to 70/100 grade bitumen. Stability and reproducibility of the measurements were also confirmed. The study findings are of high practical relevance for the road construction sector in Kazakhstan, offering opportunities to expand the raw material base and improve the durability of asphalt pavements under the sharply continental climate.

Keywords: bitumen penetration, RTFOT aging, modified bitumen, thermal stability, 50/70, 70/100, road pavement.



Copyright: © 2025 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/>).



СОСТОЯНИЕ И РАЗВИТИЕ ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ ДОРОГ

Д.Қ. Қабдрашит^{*1}, А.А. Утебаев¹, М.Ж. Ануарбеков¹

¹НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», г. Астана,
Республика Казахстан

*Корреспондент автор: djakharkhan@gmail.com

Аннотация. Настоящее исследование представляет обзор современных направлений развития цементобетонных дорожных покрытий, включая прогрессивные материалы, технологические решения, цифровизацию и аспекты устойчивого строительства. Обобщены ключевые мировые практики по повышению долговечности, трещиностойкости и эксплуатационной надёжности цементобетонных покрытий с учётом климатических и эксплуатационных условий.

Проведён сравнительный анализ с текущим состоянием дорожной отрасли в Казахстане, где наметились положительные тенденции в применении модифицирующих добавок, механизированной укладки, использовании промышленных отходов и развитии цифровых методов контроля. Отмечена актуальность локальных научно-практических исследований, направленных на адаптацию передового опыта к континентальному климату и особенностям национальной инфраструктуры.

Особое внимание уделено применению добавок как ключевому элементу в повышении эксплуатационных характеристик бетона и обеспечении устойчивости покрытий. Полученные выводы формируют основу для дальнейшего развития отечественных технологий в области цементобетонных дорог.

Ключевые слова: цементобетонные дороги, дорожное строительство, устойчивое развитие, модифицирующие добавки, долговечность покрытий, цифровизация инфраструктуры, эксплуатационные характеристики, дорожные покрытия.

Введение

Традиционные материалы и технологии, применяемые в дорожной отрасли Казахстана, уже не отвечают современным требованиям: они снижают производительность строительства и обеспечивают ограниченный срок службы дорог. В условиях роста автомобилизации и грузопотока это приводит к ускоренной деградации покрытий и увеличению затрат на ремонт [1].

В этой ситуации особое внимание привлекают технологии, способствующие увеличению ресурса дорожных конструкций. Современная практика показывает, что долговечность цементобетонных покрытий можно существенно повысить за счёт применения модифицированных материалов. Такие решения позволяют эффективно замедлять рост трещин, продлевая срок службы дороги без необходимости капитального ремонта. Это особенно актуально в условиях высоких нагрузок и переменных климатических факторов, что делает применение модифицированных материалов важным направлением развития дорожной отрасли [2].

Однако только материалы не определяют конечное качество покрытия. Качество бетонных дорожных конструкций формируется на всех этапах технологического процесса: от подготовки основания и бетонной смеси до укладки, ухода и соблюдения температурного режима. Повышение трещиностойкости и прочности достигается за счёт применения

современных методов усиления конструкции. Обоснованный выбор материалов и технологий с учётом типовых дефектов способствует снижению деформаций и увеличению срока службы покрытия. В целом, бетонные покрытия обладают рядом преимуществ перед асфальтобетонными и рассматриваются как перспективное направление развития дорожной инфраструктуры [3].

Продолжением этой тенденции являются сборные цементобетонные покрытия, которые эффективно дополняют общую стратегию повышения долговечности. Здесь ключевую роль играет контроль качества на всех этапах устройства — от подготовки основания до герметизации швов. Современные технологические решения, применяемые в сборных системах, направлены на снижение деформаций и повышение надёжности, что соответствует общему вектору развития устойчивой и эффективной дорожной инфраструктуры [4].

Для закрепления этих преимуществ необходим системный подход, включающий обновление нормативной базы, принятие обоснованных проектных решений и многоступенчатый контроль качества на всех стадиях строительства. Учитывая высокую прочность, устойчивость к деформациям и длительный срок службы при надлежащей эксплуатации, цементобетонные покрытия представляют собой рациональное решение, особенно для дорог с интенсивным грузовым движением. Их применение оправдано не только технически, но и экономически, поскольку при сопоставимых затратах они обеспечивают меньшие издержки на содержание и ремонт в течение жизненного цикла. Это направление полностью согласуется с международной практикой и актуальными тенденциями модернизации дорожной отрасли [5].

2 Тенденции развития цементобетонных дорог в мире

2.1 США: Программы долговечных дорог (Long-Life Pavement) и применение высокопрочного бетона

Одним из ключевых источников данных, способствующих развитию долговечных дорожных конструкций в США, является Программа долгосрочного исследования состояния дорожных покрытий (Long-Term Pavement Performance, LTPP). Несмотря на запуск ещё в XX веке, программа продолжает действовать и в XXI веке, обеспечивая непрерывный сбор информации и проведение исследований. Эти данные играют важную роль в совершенствовании подходов к проектированию, строительству и ремонту дорог с акцентом на долговечность. Накопленные сведения позволяют глубже понять факторы, влияющие на износ и разрушение покрытий, и служат основой для создания надёжных цементобетонных дорог, рассчитанных на долгосрочную эксплуатацию [6].

Ещё одной важной вехой в развитии долговечных дорожных конструкций в США стало внедрение концепции «вечного покрытия» (Perpetual Pavement). Эта проектная философия, основанная на сотрудничестве промышленности, научных учреждений и государственных органов, ориентирована на создание асфальтовых покрытий со сроком службы более 50 лет без необходимости капитального ремонта, требующих лишь периодического обновления верхнего слоя.

Показательным примером является проект Калифорнийского департамента транспорта (Caltrans) — реконструкция участка I-5 в районе Сакраменто (2019–2021), где применялись принципы вечного покрытия на магистрали с высокой транспортной нагрузкой. Анализ затрат за жизненный цикл показал экономию около 40 % (без учёта дисконтирования) на 60-летнем горизонте по сравнению с традиционными покрытиями, несмотря на несколько более высокую (на 4 %) начальную стоимость. В рамках проекта было использовано около 350 000 тонн асфальтобетонных смесей, включая резиноасфальт в верхнем слое, что подчёркивает масштаб и практическую эффективность этой технологии [7].

Инициативы на уровне отдельных штатов дополнительно подтверждают общенациональный курс на внедрение долговечных дорожных решений. Департамент транспорта штата Мичиган (MDOT), в соответствии с законодательной инициативой 2015 года, реализовал пилотные проекты в период 2017–2019 гг., построив четыре экспериментальных участка дорог (два асфальтовых и два бетонных) с применением качественных материалов и передовых технологий, рассчитанных на 50-летний срок службы.

Результаты показали значительно более высокий потенциал долговечности по сравнению с традиционными конструкциями, рассчитанными на 20 лет, несмотря на более высокие начальные затраты. Исследования MDOT подчеркнули важность строительных приёмов, таких как одновременное применение двух асфальтоукладчиков для повышения однородности смеси и устойчивости покрытия. Оценка проектов включала детальные лабораторные испытания и расчёты по механистически-эмпирическим моделям с целью прогнозирования срока службы и анализа экономической эффективности для дальнейшего широкого применения [8].

Таблица 1 – Период ключевых решений.

Технология / Материал	Период применения	Ключевые преимущества	Область применения
Бетон с заданными эксплуатационными характеристиками	2015–2025	Долговечность, прочность на основе полевых испытаний	Автомагистрали, городские дороги
Резиноасфальт, смеси с вторичными материалами	2015–2025	Экологичность, эффективное использование ресурсов	Городские и сельские дороги, зоны дренажа
Тёплый асфальт	2015–2025	Снижение выбросов, безопасность при укладке	Автомагистрали, городские улицы
Пористый асфальт / бетон	2015–2025	Управление ливневыми водами, устойчивость городской среды	Парковки, дороги с низкой нагрузкой
Цементно-обработанные основания	2015–2025	Прочность, уменьшение толщины конструкции, снижение затрат	Автомагистрали, проблемные грунты
Современный контроль качества	2015–2025	Однородность, оперативный контроль, улучшенные результаты	Все крупные строительные объекты

Методы сохранения дорожных покрытий также значительно эволюционировали благодаря более широкому применению цифровых технологий и систем принятия решений на основе данных [9]. Так, в штате Техас данные, полученные с использованием прибора Texas Stress-Depth Deflectometer (TSDD), были интегрированы в систему управления дорожными покрытиями. Это позволило более эффективно распределять ресурсы на проведение профилактических мероприятий (например, устройство защитных слоёв типа «чип-сил»), что способствует продлению срока службы покрытий за счёт своевременного и обоснованного вмешательства [10].

2.2 Канада: Инновационные решения в условиях сурового климата

Канада сталкивается с особыми вызовами в области проектирования дорожных покрытий из-за своего сурового континентального климата, характеризующегося экстремальными температурами и многократными циклами замерзания и оттаивания. За последние десятилетия, особенно в период с 2015 по 2025 год, канадские агентства и научные учреждения разработали и внедрили инновационные, устойчивые к климату решения, направленные на увеличение срока службы покрытий, снижение затрат на содержание и повышение экологической устойчивости.

2.2.1 Стратегии долговечных покрытий и сохранения

Опыт, накопленный за более чем 60 лет проведения испытаний покрытий в различных климатических зонах Канады, подтвердил важность проектирования конструкций с учётом длительного срока службы в условиях серьёзного климатического воздействия. Результаты показали необходимость сбалансированного выбора свойств битумов, с акцентом на низкое содержание парафинов, а также использование полимерных и волокнистых модификаций для повышения устойчивости к трещинообразованию и колееобразованию при сохранении гибкости и прочности. Например, в провинции Альберта полимермодифицированные и армированные волокнами битумы продемонстрировали высокую эффективность, снижая риск хрупкого разрушения при низких температурах и интенсивном трафике [11].

Для сохранения существующих дорог широко применяются методы профилактического ремонта. В провинциях Онтарио и Новая Шотландия активно используют технологии герметизации трещин, туманные эмульсии, поверхностные обработки (чип-силы), микроповерхности, а также горячую и холодную регенерацию на месте. В Новой Шотландии для повышения производительности применяется внутренняя бригада по устройству поверхностных обработок и мобильный асфальтобетонный завод, что позволило увеличить темпы обновления дорожного покрытия на 50% и ежегодно экономить миллионы долларов за счёт своевременного вмешательства, предотвращающего капитальный ремонт [12].

Канадские дорожные агентства также используют системы управления дорожными покрытиями, основанные на сетевом планировании и объективных показателях состояния, чтобы оптимизировать сроки и затраты на восстановление — это особенно важно в условиях ограниченного финансирования [13].

2.2.2 Инновационные материалы для сурового климата

Учитывая климатические вызовы, в Канаде были разработаны асфальтовые и бетонные материалы, адаптированные к морозостойкости и термическим напряжениям:

Современные модифицированные битумы: Исследования показали, что жёсткие битумы, хотя и эффективно борются с колееобразованием, могут вызывать трещины от холода без соответствующей модификации. В Канаде разработаны устойчивые к фазовым изменениям полимерные и волокнистые модификации, значительно повышающие срок службы дорожных покрытий в холодных регионах.

Долговечные цементобетонные покрытия: Под влиянием европейских и канадских исследований, в стране проектируются бетонные покрытия с расчётным сроком службы более 30 лет при минимальном обслуживании. Внедряются технологии открытого щебеночного слоя (для снижения шума в городах) и геотекстильных прослоек, повышающих надёжность конструкции при неблагоприятных условиях.

Устойчивость и адаптация к изменению климата: в рамках стратегической цели Канады по достижению нулевых выбросов к 2051 году, такие провинции, как Онтарио, интегрируют принципы устойчивости в проектирование дорожных покрытий. Это включает активное использование вторичного асфальта (RAP), сбережение природных ресурсов и внедрение инновационных методов строительства, оцениваемых по системе GreenPave. Эти меры позволяют одновременно снижать выбросы парниковых газов,

экономить материалы и учитывать экономические, экологические и эксплуатационные критерии.

2.3 Китай: Масштабное внедрение цементобетона в автомагистральном строительстве

К концу 2023 года общая протяжённость автомобильных дорог, покрытых обычным цементобетоном в Китае, достигла приблизительно 3 299 915 километров, продемонстрировав устойчивый рост по сравнению с 3 261 947 км в 2022 году и резкое увеличение с менее чем 200 000 км в 2003 году [14]. Это отражает последовательный курс на модернизацию и расширение долговечных цементобетонных покрытий для удовлетворения высоких транспортных потребностей страны.

Этот строительный бум соответствует масштабной урбанизации и инфраструктурному развитию Китая. В начале XXI века на долю Китая приходилось почти половина мирового прироста городской застройки, что сопровождалось быстрым строительством жилья, аэропортов, автомагистралей и других крупных объектов. Цементобетон, как основной строительный материал, сыграл ключевую роль в реализации национальных инфраструктурных стратегий и в становлении современной экономики Китая [15].

С 2015 года в китайской научной и инженерной практике особое внимание уделяется вопросам устойчивости и долговечности: ведётся активная разработка технологий низкоуглеродистого бетона, повышенной прочности и ультравысоких характеристик бетонных смесей для автодорог, а также оптимизируются методы проектирования и строительства. Искусственный интеллект уже применяется для оптимизации состава бетонных смесей и улучшения контроля качества [16]. Кроме того, с учётом того, что Китай производит более половины мирового объёма цемента (свыше 4,1 млрд тонн в год), значительное внимание уделяется вопросам декарбонизации цементной промышленности и снижению выбросов в дорожном строительстве за счёт применения экологических технологий.

Стандарты расчёта и проектирования цементобетонных дорог также совершенствуются, сочетая национальные строительные нормы КНР с международной практикой. Это позволяет оптимизировать толщину конструкций, долговечность и устойчивость покрытий к интенсивным нагрузкам и разнообразным климатическим условиям.

Итог: период 2015–2025 гг. в Китае характеризуется беспрецедентным ростом в сфере цементобетонного дорожного строительства, который включает:

Масштабное расширение сети автодорог с цементобетонным покрытием (более 3,2 млн км к 2023 году);

Внедрение передовых технологий бетона, ориентированных на качество, долговечность и устойчивость;

Активные исследования и применение низкоуглеродных материалов и экологических методов производства;

Применение ИИ и цифровых инструментов для подбора состава, контроля качества и управления строительством;

Инфраструктурные программы на уровне государства, обеспечивающие высокий спрос и быстрые темпы строительства цементобетонных дорог.

Эти достижения подтверждают, что цементобетон остаётся ключевым материалом в реализации транспортных мегапроектов Китая и одновременно становится основой для перехода к более экологичным и долговечным решениям.

2.4 Германия: Европейские подходы к устойчивому строительству

Подход Германии к устойчивому строительству и переработке в дорожной инфраструктуре сочетает в себе передовые цифровые технологии, инновационные

материалы и экологически безопасные практики, соответствующие строгой природоохранной политике и амбициозным климатическим целям страны.

2.4.1 Цифровые инновации: Информационное моделирование зданий (BIM)

Германия систематически внедряет информационное моделирование зданий (BIM) при строительстве федеральных автотрасс в соответствии с Мастер-планом BIM для федеральных дорог [17]. С 2015 года технология проходит пилотные испытания почти во всех федеральных землях с целью повышения прозрачности затрат, сокращения отходов и соблюдения сроков реализации проектов. В рамках текущей стратегии (с 2025 года) планируется активное использование цифровых двойников для оптимизации управления жизненным циклом инфраструктуры — от проектирования и строительства до эксплуатации и техобслуживания, снижая при этом экологическую нагрузку [18].

2.4.2 Инновации в материалах и переработке

Германия делает акцент на использование вторичных материалов при строительстве и ремонте дорожного покрытия. В сети Автобанов активно применяются переработанный асфальт и резина от изношенных шин, что снижает потребление природных ресурсов и сокращает количество отходов. Также используется экобетон — бетон с пониженным углеродным следом, особенно в строительстве мостов и тоннелей, демонстрируя стремление Германии к снижению углеродоёмкости крупномасштабных проектов [19].

В рамках программы «Дороги XXI века» реализуются исследования и пилотные проекты, направленные на:

- расширенное применение гранулированного асфальта и альтернативных вяжущих;
- достижение 100 % переработки асфальта;
- использование экологических цементов с пониженным воздействием на окружающую среду;
- внедрение жизненного цикла устойчивости (LCA) в процессы планирования и содержания дорог.

2.4.3 Экологические аспекты и охрана дикой природы

Германия активно интегрирует природоохранные меры в транспортную инфраструктуру: строятся многочисленные экодуги (надземные и подземные переходы для животных), что позволяет сохранить биоразнообразие и снизить количество ДТП с участием диких животных. На автомагистралях устанавливаются шумозащитные экраны, которые защищают не только жилые районы, но и природные экосистемы от акустического загрязнения.

2.4.4 Энергоэффективность и борьба с загрязнением

Подход к устойчивости включает энергосберегающие и природоохранные меры:

- установка солнечных панелей на шумозащитных барьерах для генерации возобновляемой энергии;
- массовое внедрение энергосберегающего светодиодного освещения на автомагистралях;
- развитие дренажных и водоочистных систем, предотвращающих загрязнение водоёмов;
- сеть станций контроля качества воздуха вдоль дорог позволяет оперативно реагировать на повышение уровня загрязнений.

2.4.5 Устойчивое строительство и содержание дорог

Крупные проекты, такие как реконструкция и расширение автомагистрали A1 (завершение в 2025 году), служат примером внедрения принципов устойчивости на

практике. В проект входит капитальный ремонт мостов, озеленение, шумозащита и ведётся в несколько этапов для обеспечения бесперебойного движения транспорта.

При этом все инфраструктурные проекты подчиняются жёстким экологическим требованиям — от выдачи разрешений до контроля и мониторинга, что гарантирует соответствие климатической политике страны.

2.4.6 Европейское сотрудничество: проект DURABROADS

На уровне ЕС Германия участвует в проекте DURABROADS, направленном на разработку долговечных и экологически оптимизированных дорожных покрытий с использованием нанотехнологий и вторичных материалов. Среди результатов:

- Создание модифицированных вяжущих с повышенной стойкостью к старению;
- Использование теплого асфальта (WMA), до 97 % наполнителей которого заменены на переработанный асфальт и металлургические шлаки;
- Разработка руководств по «зелёным» государственным закупкам, стимулирующих применение устойчивых решений.

Эти инновации способствуют адаптации к климатическим изменениям и развитию «зелёной экономики» в транспортной сфере.

2.5 Южная Корея: Высокотехнологичные подходы и интеллектуальное управление дорогами

Высокотехнологичная и интеллектуальная стратегия управления дорожной инфраструктурой Южной Кореи тесно связана с применением передовых технологий в области цементабетона, что позволяет создавать «умные», долговечные и устойчивые дороги, соответствующие требованиям будущей мобильности [20].

Одним из ключевых примеров является широкое внедрение покрытий нового поколения — Next Generation Concrete Surfaces (NGCS). Эти покрытия сочетают в себе алмазное шлифование и нарезку канавок, обеспечивая более гладкую, бесшумную и безопасную поверхность, особенно в сложных условиях, таких как тоннели и мосты, характерные для гористой местности Южной Кореи [21]. Такие покрытия повышают безопасность и долговечность, создавая идеальную основу для «умных» технологий: они поддерживают высокий коэффициент сцепления и ровность покрытия, способствуют автономному вождению и снижают потребности в ремонте [22].

Программа Smart Expressway Program (2019–2024) предусматривает создание автомагистралей, оснащённых не только возможностью беспроводной зарядки электромобилей и инфраструктурой для автономных транспортных средств, но и умными бетонными покрытиями. Хотя асфальт по-прежнему широко используется, развивающаяся сеть дорог всё чаще включает интеллектуальные бетонные системы с встроенными датчиками и прочными покрытиями, необходимыми для сбора данных, мониторинга состояния дорог и обеспечения связи в реальном времени между транспортом и инфраструктурой.

Кроме того, строительство самих дорог выигрывает от внедрения цифровых технологий: используется ИИ, беспилотная техника, дроны и цифровое картографирование для высокоточного укладки бетона и контроля качества. Это улучшает равномерность покрытий и продлевает их срок службы — особенно важно, поскольку бетонные дороги являются основой многих скоростных магистралей и тоннелей Южной Кореи [23].

Также безопасность и управление обслуживанием повышаются за счёт «умных» бетонных решений — например, встроенных сенсоров, способных отслеживать структурную целостность, температуру и нагрузки от трафика. Такие покрытия поддерживают проактивное техническое обслуживание и интегрируются в более широкую систему связи V2X (Vehicle-to-Everything), создавая единую цифровую экосистему, где прочные, технологичные бетонные покрытия становятся частью инфраструктуры автономного вождения и «подключённого» транспорта.

В кратком изложении, подход Южной Кореи к интеллектуальному управлению дорогами непосредственно связан с цементобетоном через:

- применение покрытий нового поколения для повышения долговечности, снижения шума и обеспечения безопасности;
- внедрение встроенных сенсоров в бетонные покрытия для интеллектуального мониторинга и коммуникаций;
- использование цифровых технологий строительства для оптимизации качества и срока службы бетонных дорог;
- поддержку беспроводной зарядки электромобилей и систем автономного вождения, возможных благодаря прочной и ровной бетонной инфраструктуре [24].

Эти инновации превращают цементобетон не просто в конструкционный материал, а в активный элемент умной, устойчивой и высокотехнологичной транспортной системы Южной Кореи.

2.6 Монголия (в контексте проектов Южной Кореи): Локализация технологий и вызовы при внедрении

В период с 2024 по 2027 год южнокорейские институты во главе с Корейским институтом гражданского строительства и строительных технологий (KICT) реализуют масштабный проект по локализации технологий интеллектуального управления дорогами в Монголии в рамках Меморандума о взаимопонимании (MOU), подписанного с Министерством дорожного и транспортного развития Монголии (MRTD).

Цель проекта — адаптация передовой корейской интегрированной системы управления дорогами K-smart к специфическим условиям Монголии для повышения устойчивости, долговечности дорог и эффективности транспортной инфраструктуры.

2.6.1 Локализация технологий в контексте бетонных дорог

Суровый климат Монголии — резкие перепады температур, циклы замораживания и оттаивания, огромные неосвоенные территории — предъявляет особые требования к технологии строительства бетонных дорог. Это требует адаптации корейских высокотехнологичных решений в области бетонных покрытий к экстремальным погодным условиям при обеспечении экономической и практической реализуемости в условиях слаборазвитой инфраструктуры.

Основные вызовы локализации и внедрения:

Адаптация материалов: разработанные в Корее устойчивые бетонные смеси и покрытия нового поколения (Next Generation Concrete Surfaces, NGCS) нуждаются в доработке для устойчивости к резким перепадам температур и циклам замораживания-оттаивания. Необходима корректировка составов добавок, армирования волокнами и технологии ухода за бетоном для достижения долговечности в условиях континентального климата.

Строительные возможности: строительная отрасль Монголии развивается, но пока не обладает достаточным опытом в применении передовых бетонных технологий, широко используемых в Южной Корее. Передача знаний через обучающие программы, заложенные в проекте, играет ключевую роль в обеспечении качества строительства и внедрении сенсорных технологий для «умного» мониторинга.

Интеграция систем управления: южнокорейские стратегии управления дорожной инфраструктурой основаны на встроенных в бетонные покрытия сенсорах, продвинутой диагностике и ИИ-системах предиктивного обслуживания. Внедрение этих решений в Монголии требует наличия инфраструктуры для сбора данных и цифровой связи, которая пока ограничена, особенно в сельских районах.

Ресурсы и бюджетные ограничения: учитывая огромную территорию страны и ограниченные бюджеты, технологии должны быть экономически эффективными и адаптированы под местные ресурсы. Передача технологий из Кореи делает акцент на

масштабируемых решениях и обучении, позволяющих строить и обслуживать бетонные дороги с высокой эффективностью.

Развитие человеческого капитала: меморандум предусматривает повышение квалификации монгольских специалистов в дорожной отрасли через семинары, обменные программы и демонстрационное оборудование для диагностики дорожных разрушений. Эти меры являются ключевыми для успешной локализации «умных» бетонных технологий и обеспечения их устойчивого развития.

Связь с более широкими инициативами Южной Кореи в области интеллектуальных дорог

Программа Smart Expressway и система K-smart Integrated Road Management, включающая бетонные покрытия с датчиками, контроль качества строительства и ИИ-обслуживание, служат моделью для Монголии. Передача технологий предусматривает адаптацию этих решений к монгольским условиям с учётом цифровых и технологических ограничений.

Благодаря локализации данных технологий Монголия стремится модернизировать свою дорожную сеть, улучшить прочность и эксплуатационные характеристики бетонных покрытий в экстремальных климатических условиях, обеспечивая более безопасную и устойчивую транспортную систему в соответствии с принципами устойчивого развития и интеллектуальной мобильности будущего.

3. Ключевые аспекты технологии цементобетонных дорожных покрытий

3.1. Применяемые материалы и составы цементобетона

Вяжущее: основным вяжущим веществом является портландцемент, который часто комбинируется с 20–50 % минеральных добавок (SCM) — таких как зола-унос, гранулированный доменный шлак (GGBFS) и микрокремнезём. Эти компоненты способствуют повышению долговечности покрытия и снижению углеродного следа.

Заполнители: используются мелкие и крупные заполнители с контролем по фракции, чистоте и гранулометрии для обеспечения плотности и минимизации водопроницаемости.

Химические добавки:

- воздухововлекающие добавки (AEA): повышают устойчивость к циклам замораживания и оттаивания.

- пластификаторы (WRA): обеспечивают удобоукладываемость при снижении водоцементного отношения.

- добавки для снижения усадки (SRA): снижают напряжения, вызванные усадкой при высыхании.

Волокна: в передовых и северных проектах используются стальные или полимерные волокна для повышения прочности на растяжение и сопротивления образованию трещин.

Низкоуглеродный бетон: активно внедряются технологии с высоким содержанием SCM и промышленных побочных продуктов для снижения выбросов CO₂ при сохранении эксплуатационных характеристик.

Таблица 2. Региональные подходы к составу бетонной смеси

Регион	Особенности состава бетонной смеси
США	Высокое содержание золы и шлака, воздухововлечение, строгие требования к заполнителям
Канада	Модификация полимерами и волокнами, устойчивость к замораживанию-оттаиванию, рациональное использование SCM
Китай	Низкоуглеродные и УВП-бетоны, ИИ-оптимизация состава, высокая прочность для тяжёлых нагрузок
Германия	Экологичные вяжущие, вторичные заполнители, устойчивый подход к проектированию

Южная Корея	NGCS-поверхности, бетон с сенсорами, высокая доля шлака для долговечности
Монголия	Адаптация корейских смесей, волокна и добавки для морозостойкости, использование местных ресурсов

3.2. Технологии укладки и используемое оборудование

Приготовление смеси: централизованные автоматизированные узлы обеспечивают точность дозировки и однородность.

Укладка: бетоноукладчики с опалубкой-скользящей формой (slipform) обеспечивают непрерывность и высокое качество поверхности. Применяется лазерное или GPS-наведение.

Уплотнение и контроль: встроенные датчики в реальном времени контролируют температуру, осадку конуса, толщину слоя и позволяют оперативно корректировать параметры.

Обработка поверхности: алмазное шлифование, нарезка канавок и текстурирование поверхности повышают гладкость, сцепление и снижают уровень шума.

Передовое оборудование: используются беспилотники, роботизированные машины и ИИ-системы для оценки качества, контроля хода строительства и выявления дефектов.

Таблица 3. Сравнительная таблица по технологиям

Регион	Технологические особенности
США	Автоматизированный контроль качества, ускоренное твердение
Канада	Мобильные заводы, сезонная адаптация, технологии сохранения
Китай	Механизированная укладка, цифровое управление, ИИ-дизайн
Германия	BIM, экотехника, минимизация отходов
Южная Корея	Контроль NGCS, сенсоры, автономные системы
Монголия	Передача технологий из Кореи, обучение, адаптивные машины

3.3. Методы повышения долговечности и трещиностойкости

Воздухововлечение: Создание мелких воздушных пор предотвращает разрушения от замораживания-оттаивания.

Оптимизация SCM: добавление золы и шлака снижает водопроницаемость и химическую реактивность (например, реакцию щёлочь-кремнезём, сульфатную коррозию).

Армирование волокнами: ограничивает развитие и распространение трещин от нагрузок и воздействия окружающей среды.

Контроль водоцементного отношения: обеспечивает плотную структуру и низкую проницаемость.

Контролируемое твердение: Поддержание влаги и температуры предотвращает ранние трещины и обеспечивает полноценную гидратацию.

Оптимизированные швы: Применение дюбелей, правильный шаг и глубина швов минимизируют деформации.

Управление усадкой: Использование SRA-добавок и корректных графиков ухода за бетоном.

3.4. Мониторинг состояния и цифровизация дорог

Системы управления дорожным покрытием (PMS): системы мониторинга (например, LTPP в США, PMS в Кореи) фиксируют состояние покрытия, деформации и срок службы.

Встроенные датчики: в бетон встраиваются сенсоры для измерения напряжений, температуры и деформаций, что позволяет переходить к предиктивному обслуживанию.

Цифровые двойники и BIM: моделирование активов и цифровое проектирование повышают управляемость и точность сценарного планирования.

Автоматизированный осмотр: используются машинное зрение, лазерное сканирование и ИИ для точного и оперативного выявления дефектов.

3.5. Экологичность, углеродный след и устойчивое развитие SCM и вторичные материалы: массовое использование золы, шлака и других промышленных отходов снижает выбросы CO₂ при производстве цемента.

Циркулярные ресурсы: Применение переработанных заполнителей, фрезерованного асфальта (RAP), экологических вяжущих.

Энергоэффективность: технологии теплого бетонирования и оптимизация строительных процессов снижают энергозатраты.

Оценка жизненного цикла: Использование LCA и индексов устойчивости (например, GreenPave, аналоги LEED) для принятия решений по закупкам и ремонту.

Интеллектуальные элементы дорог: Интеграция солнечных панелей, систем энергоэффективного освещения и других элементов устойчивой инфраструктуры.

Адаптация к изменению климата: Учет прогнозов климатических изменений, дефицита ресурсов и будущих требований к мобильности в конструкции и материалах.

4. Сравнительный анализ с Казахстаном и перспективы развития цементобетонных дорог

4.1 Материалы и составы

В Казахстане цементобетон всё активнее применяется в дорожном строительстве, особенно на крупных магистралях. Используются прочные бетонные смеси с различными добавками, которые повышают долговечность покрытий. Особое внимание уделяется адаптации составов к климату и использованию местного сырья, включая вторичные материалы и промышленные отходы.

Во многих странах также активно развиваются технологии бетонных дорог:

В США и Канаде широко применяют добавки, повышающие морозостойкость и прочность.

В Китае и Южной Корее используют современные составы с повышенной устойчивостью и долговечностью.

В Германии упор делается на экологичные материалы и переработку.

Казахстан движется в одном направлении, стремясь повышать качество и срок службы бетонных покрытий.

4.2 Технологии и оборудование

Строительство бетонных дорог в Казахстане выполняется с использованием современных машин, которые позволяют быстро и точно укладывать дорожное полотно. Для улучшения качества внедряются технологии контроля швов и условий твердения.

Во многих развитых странах активно применяются автоматизированные системы, роботы и цифровой контроль. Например, в Южной Корее и США используются беспилотные технологии и датчики, встроенные в дорожное покрытие.

4.3 Долговечность и трещиностойкость

Для повышения срока службы дорог в Казахстане используются прочные материалы, специальные добавки и технологии по защите от перепадов температур и влаги. Также проводится регулярный контроль качества.

Международный опыт показывает, что долговечность бетонных покрытий можно повысить с помощью армирования, оптимальных составов и правильного проектирования швов. Эти подходы также учитываются в казахстанской практике.

4.4 Мониторинг и цифровизация

Цифровизация дорожной инфраструктуры в Казахстане развивается — внедряются электронные паспорта объектов, системы мониторинга, используются геоинформационные технологии. Всё это помогает своевременно отслеживать состояние дорог и проводить профилактический ремонт.

В других странах, особенно в Южной Корее, цифровые технологии уже давно стали стандартом — дороги оборудуются датчиками, а управление осуществляется в автоматическом режиме. Казахстан стремится к таким решениям, особенно на новых и стратегически важных объектах.

4.5 Экология и устойчивое развитие

В дорожном строительстве Казахстан делает акцент на экологичность — это проявляется в использовании переработанных материалов, снижении выбросов и повышении энергоэффективности. Также развивается направление «зелёных» технологий и устойчивого строительства.

Мировой опыт подтверждает актуальность этого подхода: страны активно снижают углеродный след дорожных работ, используют вторсырьё и новые экологичные составы. Казахстан стремится к тому же, внедряя экологические стандарты и инновации.

Опыт Казахстана в развитии цементобетонных дорог показывает стремление к современному, качественному и устойчивому подходу в строительстве. Основные направления — повышение долговечности, цифровизация, экологичность и применение новых технологий.

Сравнение с международной практикой подтверждает, что Казахстан движется в правильном направлении, адаптируя передовые решения к своим условиям и ресурсам. В перспективе это позволит создавать надёжную и эффективную дорожную сеть, отвечающую современным требованиям.

5.1 Возможности применения зарубежных практик

Международный опыт (США, Канада, Германия, Южная Корея, Китай) демонстрирует эффективность современных решений в области долговечных бетонных покрытий, цифровизации контроля, экологичности и автоматизации строительных процессов. Казахстан имеет потенциал к внедрению следующих зарубежных практик:

- технологии механизированной и бесперебойной;
- применение цифровых систем мониторинга состояния покрытия;
- использование шлаков, зол и вторичных материалов;
- внедрение BIM, цифровых двойников и автоматизированного управления строительством.

Адаптация этих решений с учётом местных климатических и инфраструктурных условий способна повысить качество и срок службы дорожных покрытий.

5.2 Необходимость локальных исследований

Несмотря на активное развитие, многие зарубежные технологии требуют адаптации к суровому континентальному климату, специфике транспортных нагрузок и ресурсной базе Казахстана. Это создаёт необходимость:

- проведения лабораторных и полевых испытаний новых составов;
- оценки совместимости добавок с местным сырьём;
- разработки национальных нормативов и методик контроля качества;
- изучения долгосрочного поведения бетонных покрытий в региональных условиях.

Диссертационные и прикладные научные исследования играют ключевую роль в обеспечении научного обоснования и практической применимости таких решений.

5.3 Роль модифицирующих добавок в адаптации зарубежного опыта

Модифицирующие добавки являются связующим звеном между международными стандартами и региональными условиями. Их применение позволяет:

- управлять сроками схватывания и твердения бетона при транспортировке на большие расстояния;
- повысить морозостойкость в условиях частых циклов замерзания-оттаивания;
- улучшить прочностные и эксплуатационные характеристики при использовании местного сырья (шлаки, зола, глина);
- снизить содержание цемента и углеродный след дорожных работ.

Таким образом, модификаторы становятся важным инструментом технологической адаптации и повышения эффективности бетонных дорог.

5.4 Рекомендации по развитию цементобетонных технологий в Казахстане

- с учётом современных вызовов и возможностей предлагаются следующие направления развития:

- углубление научных исследований — формирование научно-обоснованных составов бетона, подходящих для различных климатических зон РК;
- расширение цифровизации — внедрение систем мониторинга, электронных паспортов дорог, цифровых моделей и предиктивной аналитики;
- масштабирование лучших практик — пилотные проекты с использованием новых технологий и материалов с последующим тиражированием;
- развитие нормативной базы — обновление стандартов с учётом международного опыта и отечественных исследований;
- повышение квалификации специалистов — обучение персонала новым методам проектирования, укладки и контроля качества.
- комплексная реализация этих мер позволит обеспечить устойчивое развитие цементобетонных дорог в Казахстане с учётом международных стандартов и национальных интересов.

Заключение

За последнее десятилетие во многих странах наблюдается устойчивый рост интереса к цементобетонным дорогам как более долговечной и устойчивой альтернативе традиционным асфальтобетонным покрытиям. Зарубежный опыт показывает эффективность таких решений, как использование шлаков и зол, модифицирующих добавок, цифровых систем мониторинга и механизированной укладки. Казахстан демонстрирует значительный прогресс в этом направлении, особенно в части применения местных материалов и технологий, адаптированных к климатическим условиям.

При этом выявлена необходимость в систематизации опыта, усилении научной базы и локализации технологий. Особое значение приобретают модифицирующие добавки, позволяющие адаптировать международные практики к условиям РК.

Практическая значимость для развития дорожной отрасли РК, полученные выводы и проведённый анализ позволяют:

- определить наиболее перспективные технологии и материалы для внедрения в РК;
- выработать рекомендации по модернизации нормативно-технической базы;
- способствовать устойчивому развитию дорожной отрасли за счёт повышения долговечности покрытий и сокращения затрат на ремонт;
- расширить применение промышленных отходов, что важно с точки зрения экологии и ресурсосбережения;
- стимулировать развитие отечественного производства добавок и компонентов для цементобетонных покрытий.

Таким образом, результаты исследования могут быть использованы в реальных проектах по проектированию, строительству и ремонту автомобильных дорог.

Список литературы

1. Асматулаев Б. А. Перспективы использования техногенных отходов в дорожном строительстве Казахстана // *neft-gas.kz*. – [Электронный ресурс]. – URL: https://neft-gas.kz/f/ba_asmatulaev.pdf
2. Wang, Y. et al. Advances in pavement concrete technology for a carbon-neutral future // *Construction and Building Materials*. – 2024. – URL: <https://sciencedirect.com/science/article/pii/S266616592400036X>
3. Zhang, Q., Li, Z., Wang, Y. Development and application of green concrete materials // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2021. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/988/5/052054/meta>
4. Yang, J., Kim, H. et al. Sustainable Road infrastructure in cold regions: a review // *International Journal of Transportation Science and Technology*. – 2021. – URL: <https://sciencedirect.com/science/article/pii/S2095756421001021>
5. Вопросы по оценке контроля качества цементобетонных покрытий // Журнал "Жаршы". – [Электронный ресурс]. – URL: https://jarshy.qazjolgzi.kz/media/article/30/Вопросы_По_Оценке_Контроля_Качества.pdf
6. Federal Highway Administration (FHWA). Long-Term Pavement Performance Program – Report No. FHWA-HRT-15-049. – 2015. – URL: <https://fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/ltp/15049/013.cfm>
7. Asphalt Pavement Alliance. Perpetual Pavement: Innovation for Long-Life Asphalt Pavements. – URL: https://asphaltpavement.org/uploads/documents/AVP_PerpetualPavement_Flyer.pdf
8. Michigan DOT. Evaluation of Concrete Overlay Performance – Research Spotlight SPR-1722. – URL: <https://michigan.gov/mdot/-/media/Project/Websites/MDOT/Programs/Research-Administration/Research-Spotlights/SPR-1722-Spotlight.pdf>
9. Transportation Research Board. Transforming Transportation Infrastructure. – TR News, №339. – URL: <https://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/trnews/trnews339Transforming.pdf>
10. City of West Sacramento. 2025 Pavement Preservation Program. – URL: <https://cityofwestsacramento.org/government/departments/capital-projects-department/projects/2025-pavement-preservation-program>
11. Transportation Association of Canada (TAC). Pavement Preservation: An Effective Way of Dealing with Scarce Maintenance Budget. – URL: <https://tac-atc.ca/en/knowledge-centre/technical-resources-search/conference-papers/pavement-preservation-effective-way-of-dealing-with-scarce-maintenance-budget/>
12. Government of Nova Scotia. Five-Year Highway Improvement Plan 2013–2014. – URL: https://novascotia.ca/tran/highways/5yearplan/gofurther13_14.asp
13. Lepech, M. et al. Life-Cycle Analysis of Sustainable Road Infrastructure Projects // SSRN. – 2021. – URL: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3982071
14. CEIC Data. China – Highway Length of Paved Cement Concrete Roads. – URL: <https://ceicdata.com/en/china/highway-length-of-highway/cn-highway-length-of-highway-paved-common-cement-concrete>
15. BBC Future. The Environmental Cost of China's Addiction to Cement. – 2024. – URL: <https://bbc.com/future/article/20240419-the-environmental-cost-of-chinas-addiction-to-cement>
16. Wu, H. et al. High-Performance Road Materials and Green Technologies for Smart Cities // *Materials Reports: Sustainability & Energy*. – 2025. – URL: <https://sciopen.com/article/10.26599/MRSE.2025.9520001>
17. Federal Ministry for Digital and Transport (Germany). BIM Masterplan for Federal Trunk Roads. – URL: <https://bmvi.de/SharedDocs/EN/Documents/StB/bim-masterplan-englisch.pdf>

18. German Culture. Eco-Friendly Initiatives on Germany's Autobahns. – URL: <https://germanculture.com.ua/daily/autobahn-eco-friendly-initiatives-germany/>
19. Federal Highway Research Institute (BASt). Smart Roads in the 21st Century. – URL: <https://bast.de/EN/Publications/Media/S-roads-21st%20century.pdf>
20. Global Highways. South Korea's Future Roads Incorporating Technologies. – 2025. – URL: <https://globalhighways.com/wh1/news/south-koreas-future-roads-incorporating-technologies>
21. ITS Korea. Annual Report – 2015. – URL: https://its-ap.org/pdf/Its_Korea_Annual_Report_2015.pdf
22. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (Korea). ITS Brochure. – URL: https://molit.go.kr/upload/cyberJccr/pdf_file/ITS%20brochure.pdf
23. Roads & Bridges. Korean ITS Test Center and Traffic Management Technologies. – URL: <https://roadsbridges.com/transportation-management/intelligent-transportation-systems-its/news/10645393/its-korean-its-test-center-rolling-out-innovative-traffic-management-technologies>
24. Highways Today. Korea's ETRI Developing V2X Technologies. – 2025. – URL: <https://highways.today/2025/07/07/korea-etri-v2x/>

Сведения об авторах:

Қабдрашит Джахархан Қайратұлы – PhD докторант, өнеркәсіптік және азаматтық құрылыс технологиясы, КЕАҚ «Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті», Астана қ., Қазақстан Республикасы, djakharkhan@gmail.com

Қабдрашит Джахархан Қайратұлы – докторант PhD, технология промышленного и гражданского строительства, НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», г. Астана, Республика Казахстан, djakharkhan@gmail.com

Kabdrashit Dzhaharkhan Kairatuly – PhD doctoral student, industrial and civil construction technology, NJSC «L.N. Gumilyov Eurasian National University», Astana, Republic of Kazakhstan, djakharkhan@gmail.com

Өтебаев Әлібек Ақылбекұлы – магистрант, өнеркәсіптік және азаматтық құрылыс технологиясы, КЕАҚ «Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті», Астана қ., Қазақстан Республикасы, alioneppower02@gmail.com

Утебаев Алибек Ақылбекович – магистрант, кафедра технологии промышленного и гражданского строительства, НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», г. Астана, Республика Казахстан, alioneppower02@gmail.com

Utebayev Alibek Aqylbekuly – master's student, Department of Industrial and Civil Construction Technology, NJSC «L.N. Gumilyov Eurasian National University», Astana, Republic of Kazakhstan, alioneppower02@gmail.com

Ануарбеков Мурабек Жасуланұлы – магистрант, өнеркәсіптік және азаматтық құрылыс технологиясы, КЕАҚ «Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті», Астана қ., Қазақстан Республикасы, mega.armor1@gmail.com

Ануарбеков Мурабек Жасуланович – магистрант, кафедра технологии промышленного и гражданского строительства, НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», г. Астана, Республика Казахстан, mega.armor1@gmail.com

Anuarbekov Murabek Zhasulanovich – master's student, Department of Industrial and Civil Construction Technology, NJSC «L.N. Gumilyov Eurasian National University», Astana, Republic of Kazakhstan, mega.armor1@gmail.com

Вклад авторов:

Қабдрашит Д.Қ. – концепция, методология, анализ, визуализация, интерпретация, подготовка текста, редактирование.

Утебаев А.А. – сбор данных.

Ануарбеков М.Ж. – сбор данных.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Использование искусственного интеллекта (ИИ): Авторы не использовали ИИ при подготовке статьи.

ЦЕМЕНТ БЕТОН ЖОЛДАРЫНЫҢ ЖАҒДАЙЫ ЖӘНЕ ДАМУЫ

Д.Қ. Қабдрашит*¹, А.А. Утебаев¹, М.Ж. Ануарбеков¹

«¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті» Коммерциялық акционерлік қоғам, Астана қ., Қазақстан Республикасы

*Корреспондент автор: djakharkhan@gmail.com

Аннотация. Бұл зерттеу алдыңғы қатарлы материалдарды, технологиялық шешімдерді, цифрландыруды және тұрақты құрылыс аспектілерін қоса алғанда, цемент-бетонды жол жабындарын дамытудың заманауи тенденцияларына шолу жасайды. Климаттық және эксплуатациялық жағдайларды ескере отырып, цемент-бетон жабындарының беріктігін, жарықшақтарға төзімділігін және пайдалану сенімділігін арттырудың негізгі әлемдік тәжірибелері жинақталған.

Модификациялық қоспаларды қолдануда, механикаландырылған төсемде, өндірістік қалдықтарды пайдалануда және цифрлық бақылау әдістерін дамытуда оң үрдістер пайда болған Қазақстанның жол саласының қазіргі жағдайымен салыстырмалы талдау жүргізілді. Озық тәжірибелерді континенттік климатқа және ұлттық инфрақұрылымның ерекшеліктеріне бейімдеуге бағытталған жергілікті ғылыми-тәжірибелік зерттеулердің өзектілігі атап өтілді.

Бетонның пайдалану сипаттамаларын жақсартуда және жабындардың тұрақтылығын қамтамасыз етуде негізгі элемент ретінде қоспаларды пайдалануға ерекше назар аударылады. Қорытындылар цемент-бетонды жолдар саласындағы отандық технологияларды одан әрі дамыту үшін негіз болып табылады. Түйін сөздер: цемент-бетонды жолдар, жол құрылысы, тұрақты даму, модификациялық қоспалар, жабындардың беріктігі, инфрақұрылымды цифрландыру, пайдалану сипаттамалары, жол төсемдері.

Түйін сөздер: цемент-бетонды жолдар, жол құрылысы, тұрақты даму, модификациялық қоспалар, жабындардың беріктігі, инфрақұрылымды цифрландыру, пайдалану сипаттамалары, жол төсемдері.

STATE AND DEVELOPMENT OF CEMENT CONCRETE ROADS

J.K. Kabdrashit*¹, A.A. Utebaev¹, M. Zh. Anuarbekov¹

*¹NJSC «L.N. Gumilyov Eurasian National University», Astana, Republic of Kazakhstan

*Corresponding author: djakharkhan@gmail.com

Abstract. This study provides an overview of modern trends in the development of cement concrete road pavements, including advanced materials, technological solutions, digitalization and aspects of sustainable construction. Key global practices for improving the durability, crack resistance and operational reliability of cement concrete pavements are summarized, taking into account climatic and operational conditions.

A comparative analysis is carried out with the current state of the road industry in Kazakhstan, where positive trends have emerged in the use of modifying additives, mechanized paving, the use of industrial waste and the development of digital control methods. The relevance of local scientific and practical research aimed at adapting best practices to the continental climate and the characteristics of the national infrastructure is noted.

Particular attention is paid to the use of additives as a key element in improving the performance characteristics of concrete and ensuring the stability of pavements. The findings form the basis for the further development of domestic technologies in the field of cement concrete roads.

Keywords: cement concrete roads, road construction, sustainable development, modifying additives, durability of pavements, digitalization of infrastructure, performance characteristics, road surfaces.



Copyright: © 2025 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/>).