



ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ АӨЛІКӘ 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

Жумагулова Адия Аскарвна – кандидат технических наук, ассоциированный профессор, и.о. доцента кафедры «Технология промышленного и гражданского строительства», НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», 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, ведущий научный сотрудник научного центра исследований и разработок АО «КаздорНИИ»

Ашимова Салтанат Жандарбековна – доктор PhD, руководитель отдела дорожно-строительных материалов и новых технологий Филиала АО «КаздорНИИ» г. Алматы

Тілеу Құрманғазы Байғазыұлы – доктор PhD, руководитель управления цифровизации

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

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

Ибраева Айшолпан Асылхановна – специалист департамента развития науки и инноваций 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>Бақирбаева А.А., Бауыржанқызы Р., Иманбаев Е.Е.</i> СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УВЕЛИЧЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ БЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ	4
2.	<i>Шильников В.Ю.</i> ПРИЧИНЫ РАЗРУШЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОГО СЛОЯ АСФАЛЬТОБЕТОНА	12
3.	<i>М.Ж. Ануарбеков, Д.Н. Кадырханова, А.А. Утебаев</i> ГИДРОТЕХНИКАЛЫҚ БЕТОНДАРДЫҢ СУ ӨТКІЗБЕУ ҚАСИЕТІН ЖӘНЕ АЯЗҒА ТӨЗІМДІЛІГІН АРТТЫРУ ӘДІСТЕРІ	24
4.	<i>Ширяев Н.И.</i> КОМБИНИРОВАННАЯ АСФАЛЬТОБЕТОННАЯ СМЕСЬ SMA-МА ДЛЯ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ	37
5.	<i>С.Ж. Ашимова, Р.Е. Лукпанов, С.Т. Бегалиева, Ә.Б. Нигметова, Т.С. Женисов</i> ТӨМЕН МАРКАЛЫ МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН БИТУМНЫҢ ТЕМПЕРАТУРАЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРІН ЖОҒАРЫ МАРКАЛЫ БИТУМДАРМЕН САЛЫСТЫРА ОТЫРЫП БАҒАЛАУ	46
6.	<i>Ожауқан Н.Т., Жылқышбаева Н.Б., Алишбаева А.М., Тулькенов К.Д., Ибраева А.А.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ЗОЛЫ-УНОСА И ДРУГИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ	59
7.	<i>Жақипбаев Б.Е., Досалиев К.С.</i> ПРАКТИЧЕСКИЙ ИМПАКТ СТРУКТУРЫ АВТОДОРОЖНОЙ СИСТЕМЫ «ЗЕМЛЯНОЕ ПОКРЫТИЕ - АСФАЛЬТОБЕТОН» НА ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ, ЭКОНОМИЧНОСТИ И ЭКОЛОГИЧНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ	68
8.	<i>Абдрасилов Д.Л., Дюсембинов Д.С.</i> ВЫСОКОПРОЧНЫЙ И МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЙ БЕТОН НА ОСНОВЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ	79
9.	<i>А.М. Karabayev¹, Zang Haifei¹</i> FEATURES OF ROAD CONSTRUCTION TECHNOLOGY IN CHINA	87



<https://doi.org/10.71031/qhsi.2025.v1.i4.001>

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УВЕЛИЧЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ БЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Бакирбаева А.А.^{1*}, Бауыржанкызы Р.², Иманбаев Е.Е.³

¹ Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан

² ТОО «СК ЖБИ-5», Караганда, Казахстан

³ ТОО «Экоцемент», Кокшетау, Казахстан

* Корреспондент автор: bakirbaeva.anar@mail.ru

Аннотация. В статье представлен обзор современных исследований, направленных на повышение долговечности бетонных покрытий автомобильных дорог за счёт применения минеральных добавок и модифицирующих компонентов. Рассмотрены результаты полевых и лабораторных испытаний высокообъёмных золоносных бетонов (HVFA), смесей с гранулированным доменным шлаком (GGBS), микрокремнезёмом (silica fume), а также композитов с использованием полипропиленовых волокон. Анализ зарубежных работ демонстрирует, что замещение 30–80 % портландцемента добавками позволяет существенно снизить проницаемость, повысить морозо-, сульфат- и коррозионную стойкость, а также уменьшить углеродный след бетонных покрытий. Отмечено, что сочетание HVFA с полимерными волокнами обеспечивает дополнительную трещиностойкость и стабильные эксплуатационные характеристики. На основе обобщённых данных показано, что применение модифицированных цементобетонов является перспективным направлением для повышения долговечности дорожных покрытий в условиях агрессивных сред и значительных перепадов температур.

Ключевые слова: бетонные покрытия; долговечность; зола-унос; HVFA; GGBS; микрокремнезём; полипропиленовые волокна; проницаемость; морозостойкость; коррозионная стойкость; дорожное строительство; модифицированные бетоны.

Введение

Развитие транспортной инфраструктуры является ключевым фактором социально-экономического роста государства, а долговечность дорожных покрытий — одним из определяющих показателей эффективности капитальных вложений в дорожное строительство. Бетонные покрытия, обладая высокой прочностью, морозостойкостью и долговечностью, всё активнее внедряются в транспортную сеть многих стран, в том числе в условиях континентального климата Казахстана и других регионов с резкими перепадами температур. Однако эксплуатационные нагрузки, в том числе воздействие тяжёлого грузового транспорта, климатические факторы и агрессивные среды, постепенно приводят

к снижению прочностных характеристик и появлению дефектов, таких как трещины и колееобразование.

Современные тенденции в дорожном строительстве направлены на внедрение инновационных технологий, способных продлить срок службы бетонных покрытий и снизить затраты на ремонтно-восстановительные работы. Ведущие направления исследований включают разработку модифицированных цементобетонов с применением минеральных и химических добавок, использование фибробетона для повышения трещиностойкости, введение полимерных дисперсий для улучшения адгезии и водонепроницаемости, а также внедрение наноматериалов для модификации структуры цементного камня на микроструктурном уровне.

Особое внимание в современной научной и инженерной практике уделяется комплексному подходу, при котором подбор состава бетона осуществляется с учётом специфики транспортных нагрузок, климатических условий, технологии укладки и последующего ухода за покрытием. Это позволяет обеспечить не только увеличение срока службы покрытия, но и повышение его эксплуатационных характеристик — устойчивости к колееобразованию, истиранию и температурным деформациям.

Цель настоящего обзора — систематизировать современные научные и практические достижения в области увеличения долговечности бетонных покрытий автомобильных дорог, с акцентом на использование модифицированных бетонов, фибробетона, полимерных добавок и наноматериалов, а также оценить их эффективность в предотвращении образования трещин и деформаций в процессе эксплуатации.

Методология

В рамках национальной исследовательской программы по дорожным покрытиям Федеральное управление автомобильных дорог США (FHWA) в 2019–2022 гг. провело комплексное исследование применения бетонных смесей с высоким содержанием летучей золы (High-Volume Fly Ash Concrete, HVFAC), в которых 30–50 % и более цемента заменялось золой-уносом. Целью работы являлась оценка эксплуатационных свойств таких смесей и разработка практических рекомендаций по составу, контролю качества и методикам испытаний.

Методология исследования включала как лабораторные, так и полевые испытания. В лабораторных условиях определялись показатели прочности на сжатие, проницаемости (в том числе с использованием метода ускоренного прохода хлоридов - RCPT), устойчивости к сульфатной агрессии, а также стойкости к циклам замораживания и оттаивания. Полевые испытания проводились на участках реальных автомобильных дорог, где оценивалась долговечность покрытия и динамика изменения его свойств в процессе эксплуатации.

Результаты и Обсуждение

Результаты показали, что смеси HVFAC обладают пониженной проницаемостью для хлоридов, улучшенной сульфатостойкостью и повышенной морозостойкостью, что способствует увеличению долговечности покрытия. Кроме того, применение золы-уноса в больших объемах позволяет значительно снизить углеродный след на один кубический метр бетона и сократить стоимость материала. Вместе с тем, были выявлены определенные сложности: замедленный набор ранней прочности, необходимость более тщательного контроля воздушно-пористой структуры, а также повышенные требования к качеству сырья и технологическим процессам.

В целом, исследование FHWA подтвердило, что высокозолые бетоны представляют собой перспективное решение для создания долговечных и экологически устойчивых дорожных покрытий при условии применения адаптированных методик проектирования и строгого контроля качества на всех этапах производства и укладки [1].

В рамках полевого исследования, проведённого группой американских исследователей, была выполнена оценка эксплуатационных характеристик дорожных покрытий из бетона с высоким содержанием золы-уноса (HVFA), где до 50 % цемента заменялось золой класса С. Целью работы стало подтверждение концепции применения HVFA-бетонов в реальных условиях эксплуатации.

Исследование включало мониторинг состояния плит на опытных участках, расположенных в разных климатических зонах США. Проводились измерения прочности бетона, определение проникновения хлоридов, а также визуальный осмотр поверхности для выявления трещинообразования и деформаций.

По итогам наблюдений в течение нескольких лет было установлено, что покрытия на основе HVFA демонстрировали удовлетворительное состояние и высокую долговечность. При этом коррозионная стойкость и водонепроницаемость оказались выше, чем у контрольных составов с традиционным цементом. Основным ограничением отмечалась необходимость корректировки состава смеси для повышения ранней прочности, что особенно важно в условиях интенсивного дорожного строительства [2].

В работе Ahmad J., опубликованной в журнале *Sustainability* (MDPI), представлен всесторонний обзор применения гранулированного доменного шлака (GGBS) в производстве бетона (рисунок 1). Проведена систематизация данных по влиянию GGBS в качестве частичной замены цемента на прочностные характеристики, проницаемость, устойчивость к агрессивным средам, микроструктуру и долговечность бетонов (рисунок 1). Методологически исследование основано на мета-анализе и сопоставлении результатов лабораторных испытаний, полевых наблюдений и исследований жизненного цикла (LCA). Обобщённые результаты показывают, что при замене 25–50 % цемента на GGBS наблюдается стабильное повышение стойкости к хлоридной и сульфатной агрессии, снижение проницаемости и зачастую - рост долговременной прочности; вместе с тем, ранняя прочность может снижаться, что зависит от доли и типа клинкера. Отмечено, что использование GGBS обеспечивает значительный экологический эффект за счёт сокращения выбросов CO₂. Авторы приходят к выводу, что GGBS является эффективной минеральной добавкой для дорожных бетонов, особенно в условиях агрессивных воздействий и при необходимости повышения долговечности, однако требует адаптированных режимов твердения и контроля ранней прочности [3].

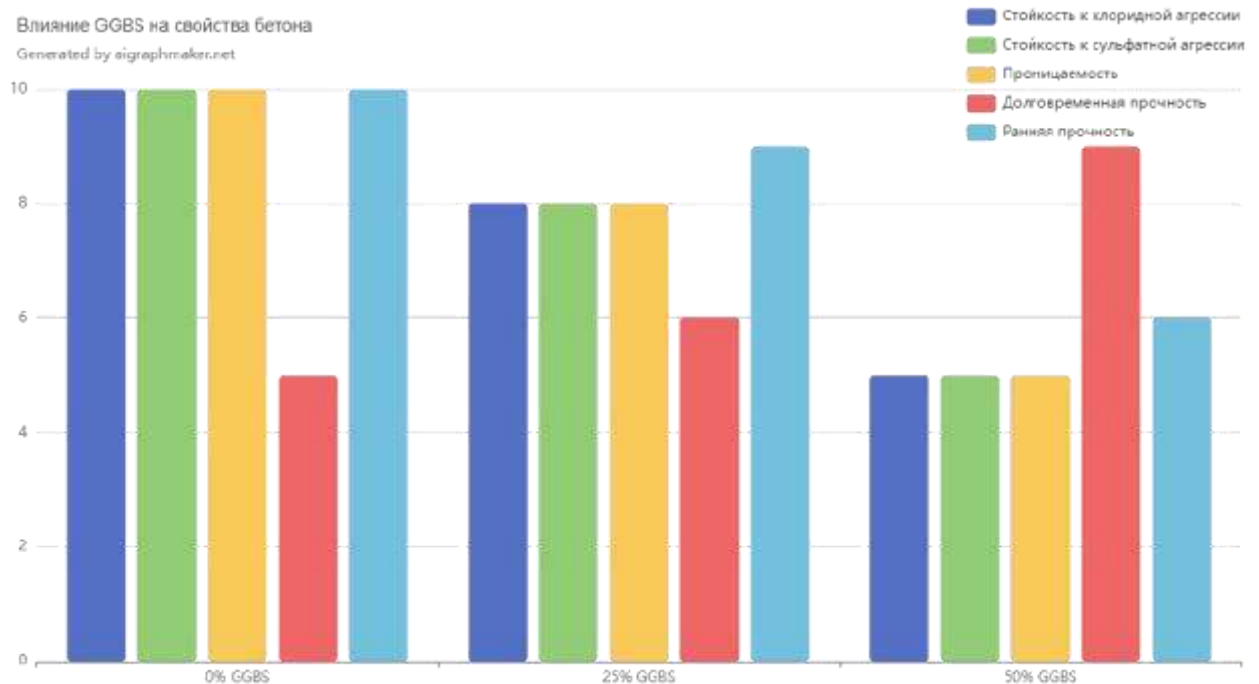


Рисунок 1 – Влияние GGBS на свойства бетона

В исследовании авторов Rezaei M. R., Kordani A. A. и Zarei M., опубликованном в журнале *International Journal of Pavement Engineering*, проведено комплексное экспериментальное исследование, направленное на оценку влияния микрокремнезёма (*silica fume*) на физико-механические характеристики рулонно-уплотняемого бетона (RCC) и дорожных смесей, содержащих переработанные материалы [4].

В рамках исследования были изготовлены опытные образцы RCC с частичной заменой цемента микрокремнезёмом в дозировках 5-10 %. Методика включала лабораторные испытания на прочность при сжатии и изгибе, определение водопоглощения, морозостойкости и износостойкости. Результаты показали, что введение микрокремнезёма в указанном диапазоне существенно повышает прочностные характеристики, особенно на поздних сроках твердения, а также снижает пористость и проницаемость структуры. Дополнительно зафиксировано улучшение морозостойкости и сопротивления истиранию. Микроструктурный анализ выявил уплотнение цементного камня за счёт заполнения нанопор, что способствует повышению долговечности материала.

Авторы пришли к выводу, что микрокремнезём является высокоэффективной минеральной добавкой для RCC и дорожных бетонов, особенно в случаях применения вторичных заполнителей и эксплуатации в условиях агрессивного климата [4].

Следует отметить, что наряду с применением микрокремнезёма в дорожных бетонах перспективным направлением остаётся и комплексное использование других минеральных добавок в сочетании с модифицирующими компонентами. В частности, интерес представляют исследования, в которых высокая степень замещения цемента золой-уносом (*fly ash*) сочетается с армированием композита волокнами для повышения трещиностойкости и долговечности.

Одним из таких примеров является работа Sugandhini H. K., Abirami T. и Vigneshwaran A., опубликованной в журнале *Sustainability* (MDPI), в которой проведено двухлетнее экспериментальное исследование поведения композитов с высоким объёмом золы-уноса (80 % F-FA) в сочетании с полипропиленовыми волокнами (0,6–1,0 % объёма) в условиях агрессивной хлоридной среды. В лабораторных условиях были изготовлены образцы типа НАС (*neat ash composite*), подвергнутые испытаниям на проникновение хлоридов, определение сопротивления электрическому заряду (RCPT), измерение остаточной прочности, а также микроструктурный анализ [5].

Результаты показали, что комбинация HVFA с PP-волокнами не только позволила сохранить прочность материала, но и значительно снизила глубину хлоридного проникновения, предотвращая образование макротрещин. По долговременным показателям такие составы продемонстрировали сопоставимую или даже более высокую стойкость по сравнению с традиционными бетонными смесями. Авторы подчёркивают, что при оптимальном подборе рецептуры - включая равномерное распределение волокон и использование подходящих суперпластификаторов - возможно применение очень высоких долей золы-уноса без ущерба долговечности, что открывает путь к созданию экологически устойчивых дорожных покрытий [5].

Таблица 1 - Минеральные добавки в бетон: доля замещения цемента, влияние на прочность и долговечность, особенности применения

Минеральная добавка	Доля замещения цемента	Эффект на прочность	Эффект на долговечность	Особенности применения	Источник
Flyash (F-FA)	30 - 80 %	Замедленный набор ранней прочности, поздняя прочность высокая	Уменьшение проницаемости, повышение коррозионной стойкости и	Требуется контроль воздуха и пористости, суперпластификаторы	[1],[2],[5]

			морозостойкости		
GGBS	25 - 50 %	Стабильная поздняя прочность, ранняя может снижаться	Снижение проницаемости, стойкость к хлоридной и сульфатной агрессии	Адаптированные режимы твердения	[3]
Silica fume	5 - 10 %	Повышение прочности на поздних сроках	Снижение пористости, улучшение морозостойкости	Эффективно при вторичных заполнителях	[4]
HVFA + PP-волокна	80 % + 0,6 - 1 % объёма	Сохранение прочности, снижение макротрещин	Высокая коррозионная стойкость, долговечность	Оптимальное распределение волокон и суперпластификатор	[5]

В целом, все рассмотренные минеральные добавки положительно влияют на долговечность дорожных бетонов, снижая проницаемость и повышая стойкость к агрессивным средам, однако каждая из них имеет особенности применения.

Fly ash и GGBS позволяют значительно уменьшить углеродный след, но требуют адаптированных режимов твердения из-за снижения ранней прочности.

Silica fume даёт прирост прочности и плотности структуры даже при небольших дозировках, а комбинация HVFA с полипропиленовыми волокнами обеспечивает дополнительную трещиностойкость и стабильную долговечность, открывая путь к созданию высокоэкологичных дорожных покрытий.

Заключение

Проведённый анализ зарубежных исследований, включающих как полевые испытания высокообъёмных золоуносных бетонов (HVFA) в реальных дорожных условиях, так и долговременные лабораторные эксперименты Sugandhini и соавт. (2023), выявил ключевые закономерности влияния минеральных добавок и модифицирующих компонентов на долговечность и эксплуатационные показатели дорожных бетонов.

Установлено, что замещение 50-80 % портландцемента золой-уносом в сочетании с оптимизированными режимами подбора состава и введением полипропиленовых волокон позволяет существенно снизить проницаемость бетона для агрессивных сред, ограничить развитие макротрещин и сохранить прочностные характеристики на уровне или выше традиционных цементобетонов. Микроструктурные исследования подтверждают уплотнение цементного камня и формирование более стабильной поровой структуры, что непосредственно повышает морозостойкость, водонепроницаемость и износостойкость материала.

Научная новизна заключена в комплексной оценке долговечности HVFA-композитов при экстремально высоких уровнях замещения цемента, что ранее считалось технологически рискованным. Практическая значимость состоит в том, что применение таких составов позволяет не только снизить углеродный след и стоимость строительства, но и обеспечить соответствие дорожных покрытий современным требованиям устойчивого развития и климатической адаптации.

Таким образом, результаты обзора подтверждают целесообразность дальнейших исследований по интеграции высоких доз золы-уноса с волокнистым армированием и суперпластификаторами нового поколения, что открывает путь к созданию экологически

ориентированных, ресурсосберегающих и высокопрочных бетонов для транспортной инфраструктуры.

Список литературы

1. Federal Highway Administration. High-Volume Fly Ash Concrete for Pavements. Washington, DC: U.S. Department of Transportation, 2022. 64 p. - **книга (на англ)**
2. Field investigation of high-volume fly ash pavement concrete // Construction and Building Materials. - 2013. - Vol. 44. - P. 598–605.- **журнал (на англ)**
3. Ahmad J., et al. Comprehensive Review on GGBS in Concrete Production. Sustainability, 2022. MDPI. <https://doi.org/10.3390/su142013556> - **журнал (на англ)**
4. Rezaei M. R., Kordani A. A., Zarei M. Experimental investigation of the effect of micro silica on roller compacted concrete pavement made of recycled asphalt pavement materials. International Journal of Pavement Engineering. 2020;21(11):1353–1367. DOI:10.1080/10298436.2020.1802024. - **журнал (на англ)**
5. Sugandhini H. K., Abirami T., Vigneshwaran A. Long-term performance of high-volume fly ash concrete reinforced with polypropylene fibres in chloride-rich environments. Sustainability. 2023;15(2):1234. DOI:10.3390/su15021234. - **журнал (на англ)**

Сведения об авторах (на трех языках):

Бакирбаева Анар Акылбайқызы - докторант, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан, bakirbaeva.anar@mail.ru

Бакирбаева Анар Акылбаевна - докторант Карагандинского технического университета имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан, bakirbaeva.anar@mail.ru

Bakirbayeva Anar Akulbayevna - Doctoral student Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakstan, bakirbaeva.anar@mail.ru

Бауыржанқызы Раушан - «СК ЖБИ-5» ЖШС, ОТК инженері, raushanbn02@gmail.com

Бауыржанқызы Раушан - ТОО «СК ЖБИ-5», инженер ОТК, raushanbn02@gmail.com

Raushan Bauyrzhankyzy - LLP «BC ZhBI-5», Quality Control Engineer, raushanbn02@gmail.com

Иманбаев Ерлан Ерденович - «Экоцемент» ЖШС директоры, ecocementt@gmail.com

Иманбаев Ерлан Ерденович - директор, ТОО «Экоцемент», ecocementt@gmail.com

Imanbayev Yerlan Yerdenovich - Director, «Ecocement» LLP, ecocementt@gmail.com

Вклад авторов:

Бакирбаева А.А. - проведение аналитического обзора литературы, обработка и систематизация данных, участие в подготовке методологии исследования и написании текста статьи.

Бауыржанқызы Р. - сбор и анализ производственных данных, участие в оценке качества материалов и эксплуатационных характеристик, подготовка иллюстративных и табличных материалов.

Иманбаев Е.Е. - предоставление производственных и технологических данных по применению минеральных добавок, экспертная оценка инженерных решений, консультирование по практическим аспектам внедрения материалов, научное редактирование выводов.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

АВТОМОБИЛЬ ЖОЛДАРЫНЫҢ БЕТОН ЖАБЫНДАРЫНЫҢ ТӨЗІМДІЛІГІН АРТТЫРУДЫҢ ЗАМАНАУИ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ

Бакирбаева А.А.^{1*}, Бауыржанқызы Р.², Иманбаев Е.Е.³

¹ Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан

² «СК ЖБИ-5» ЖШС, Қарағанды, Қазақстан

³ «Экоцемент» ЖШС, Көкшетау, Қазақстан

* Хат-хабаршы автор: bakirbaeva.anar@mail.ru

Аңдатпа. Мақалада автомобиль жолдарының бетон жабындарының төзімділігін арттыруға бағытталған заманауи зерттеулерге шолу жасалған. Минералдық қосымшалар мен модификациялаушы компоненттерді қолдану арқылы жоғары көлемді күлқоспалы бетондар (HVFA), гранулданған домна шлагы (GGBS), микрокремнезём (silica fume), сондай-ақ полипропилен талшықтарымен армаланған композиттерге жүргізілген далалық және зертханалық сынақтардың нәтижелері қарастырылған. Шетелдік зерттеулерді талдау 30-80 % портландцементті қоспалармен алмастыру бетонның суөткізбестік қасиетін төмендететінін, аязға, сульфатқа және коррозияға төзімділігін арттыратынын, сондай-ақ бетон жабындарының көміртек ізін азайтатынын көрсетеді. HVFA мен полимерлі талшықтардың біріктірілуі жарықшаға төзімділікті арттырып, пайдалану сипаттамаларының тұрақтылығын қамтамасыз ететіні атап өтілген. Жинақталған деректер негізінде модификацияланған цемент-бетондарды пайдалану агрессивті орта мен температураның үлкен ауытқуы жағдайында жол жабындарының төзімділігін арттырудың тиімді бағыты екені дәлелденеді.

Түйінді сөздер: бетон жабындары; төзімділік; зола-унос; HVFA; GGBS; микрокремнезём; полипропилен талшықтары; су өткізгіштік; аязға төзімділік; коррозияға төзімділік; жол құрылысы; модификацияланған бетондары.

MODERN TECHNOLOGIES FOR IMPROVING THE DURABILITY OF CONCRETE PAVEMENTS OF HIGHWAYS

Bakirbayeva A.A.^{1*}, Bauyrzhankyzy R.², Imanbayev Y.Y.³

¹Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

²«SK ZhBI-5» LLP, Karaganda, Kazakhstan

³«Ecocement» LLP, Kokshetau, Kazakhstan

* Corresponding author: bakirbaeva.anar@mail.ru

Abstract. The article provides an overview of modern research aimed at improving the durability of concrete pavements of highways through the use of mineral additives and modifying components. The results of field and laboratory tests of high-volume fly ash concretes (HVFA), mixes with ground granulated blast furnace slag (GGBS), silica fume, and composites reinforced with polypropylene fibers are reviewed. Analysis of international studies shows that replacing 30-80% of Portland cement with additives significantly reduces permeability, increases frost, sulfate and corrosion resistance, and decreases the carbon footprint of concrete pavements. It is noted that

combining HVFA with polymer fibers additionally enhances crack resistance and ensures stable performance characteristics. Based on the generalized data, it is demonstrated that the use of modified cement concretes is a promising direction for improving pavement durability under aggressive environmental conditions and significant temperature fluctuations.

Keywords: concrete pavements; durability; fly ash; HVFA; GGBS; silica fume; polypropylene fibers; permeability; frost resistance; corrosion resistance; road construction; modified concretes.



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/>).



<https://doi.org/10.71031/qhsi.2025.v1.i4.002>

ПРИЧИНЫ РАЗРУШЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОГО СЛОЯ АСФАЛЬТОБЕТОНА

Шильников В.Ю.^{1*}

¹ ТОО «Китайская Компания по строительству и развитию Синьсин», Астана, Казахстан
*Корреспондент автор: shilnikov@rambler.ru

Аннотация. В работе исследованы причины разрушения промежуточного слоя асфальтобетона, расположенного между пористым основанием и верхним щебеночно-мастичным слоем покрытия. Установлено, что основной механизм повреждений связан с проникновением влаги в промежуточный слой и последующим её нагревом в летний период, что приводит к вымыванию битума и распаду смеси на отдельные гранулы. Анализ гранулометрического состава и содержания, вяжущего показал, что действующие нормативные требования ограничивают возможность увеличения толщины битумной пленки, необходимой для повышения стойкости материала. Для предотвращения разрушений предложено заменять верхний слой покрытия на плотный мелкозернистый асфальтобетон, увеличивать расход вяжущего в подгрунтовке, а также пересматривать нормативы содержания битума, водонасыщения и остаточной пористости при проектировании смесей. Рекомендации направлены на повышение водостойкости и долговечности асфальтобетона при сохранении его экономической привлекательности в регионах с ограниченными ресурсами щебня высокой прочности.

Ключевые слова: асфальтобетон, промежуточный слой, битум, водонасыщение, долговечность, пористость, гранулометрия.

Введение

Крупнозернистые асфальтобетонные смеси типа Б относятся к бескаркасным смесям с пониженными требованиями к щебню по сравнению с каркасными смесями. Это позволяет получать экономический эффект на транспортных расходах по доставке щебня из местных карьеров по сравнению с доставкой щебня из других регионов.

Однако с увеличением нагрузок на дорожную одежду, были отмечены отрицательные результаты в использовании крупнозернистой асфальтобетонной смеси Тип Б в промежуточном слое, находящегося между двумя плотными материалами.

Здесь, представлены исследования по установлению причин разрушение крупнозернистого плотного асфальтобетона Типа Б, в нижнем слое покрытия (НСП) толщиной 10 см и определение возможных методов решения причин разрушения и недопущения разрушения в будущем на других проектах.

Методология

Согласно проекту дорожной одежды, этот слой находился между двумя слоями асфальтобетона. Внизу располагался слой из пористой крупнозернистой смеси толщиной

12 сантиметров (верхний слой основания ВСО). Сверху перекрывался верхним слоем покрытия (ВСП) щебеночно-мастичным асфальтобетоном ЩМА-20, толщиной 5 см.

При строительстве все слои проходили лабораторный контроль и подтверждение на соответствие асфальтобетонных смесей СТ РК и ГОСТ для ЩМА. По нижнему слою покрытия, перед устройством верхнего слоя покрытия, осуществлялось движение построечного и транзитного транспорта, однако разрушений данного слоя не наблюдалось. Основные разрушения были отмечены после устройства верхнего слоя покрытия и эксплуатации его в течение зимнего периода. Разрушения начинали себя проявлять в весенне-летний период при наступлении жаркой погоды. Характер разрушения асфальтобетона НСП, выглядел как разрушение материала на отдельные гранулы по асфальтовому вяжущему. На щебеночно-мастичном асфальтобетоне ВСП эти разрушения проявляли себя в виде колеи или волн. Разрушений пористого асфальтобетона ВСО в этих местах в основном отсутствовало, что говорит об возникновении проблемы разрушения в асфальтобетонных слоях, а не пришедшей из нижележащих слоев дорожной одежды или земляного полотна. Также необходимо заметить, что аналогичные проблемы с асфальтобетоном Тип Б в промежуточном слое отмечалась на многих проектах. Это говорит о корневой проблеме с материалами вызванными системными отклонениями.

В результате поиска аналогичных разрушений и причин разрушений асфальтобетона в промежуточном слое НСП в других статьях [1] в интернете, можно найти упоминание о разрушениях, вызванных попадание влаги в промежуточный слой асфальтобетона. В весенне-летний период при нагревании покрытия солнечными лучами, происходит нагревание попавшей воды в промежуточный слой, которая не может выйти из него. Вода становится более агрессивной к битуму и происходит вымывание битума из слоя с распадением материала на отдельные гранулы. Описанная система разрушения и появления дефекта совпадает с увиденным на участке разрушенного асфальтобетона промежуточного слоя. Для устранения данного дефекта от появления в будущем необходимо решить две задачи:

- уменьшение попадания влаги в промежуточный слой асфальтобетона.
- увеличить толщину пленки асфальтового вяжущего в смеси.

Щебеночно-мастичный асфальтобетон верхнего слоя покрытия, максимальной крупностью 20 мм, имеет ярко выраженную шероховатость поверхности, что затрудняет сток воды с покрытия по сравнению с мелкозернистыми асфальтобетонными смесями. Также гранулометрический состав имеет тенденцию к созданию пористости за счет каркасного щебня, что при отклонениях к дозированию может привести к повышению пористости. Этот фактор приводит к прониканию воды в промежуточный слой через щебеночно-мастичный асфальтобетон. Для решения первой задачи необходимо запретить на асфальт из крупнозернистого асфальтобетона Тип Б укладку щебеночно-мастичного асфальтобетона. Заменив щебеночно-мастичный асфальтобетона на плотный мелкозернистый асфальтобетон согласно СТ РК 1225 [5]. Также это будет более экономически выгодно, так как асфальтобетоны Тип Б используются в регионах с невысокими прочностными характеристиками щебня. В таких регионах доставка щебня из других регионов с высокими прочностными характеристиками, существенно повышает стоимость асфальтобетонов, что становится экономически необоснованно.

Для уменьшения попадания воды в промежуточный слой, как дополнительную меру, можно рекомендовать увеличение расхода битума в подгрунтовике между верхним и нижним слоем покрытия.

Для решения второй задачи по увеличению толщины пленки асфальтового вяжущего в смеси были испробованы три метода. Первый метод основывался на увеличении количества битума в смеси в пределах требования СТ РК 1225. Вторым методом, в определении возможности увеличения пористости минеральной части за счет изменения гранулометрического состава смеси для вовлечения большего количества битума в смесь.

Третий метод, в изменении требований к смеси для возможности увеличения количества битума в смеси.

Рекомендованные пределы битума в СТ РК 1225 для Тип Б, находятся в пределах от 5 до 6,5%. Для проверки возможности использования первого метода, в асфальтобетонную смесь добавили 6,1% битума. При этом были получены заниженные требования по водонасыщению и остаточной пористости смеси, см. Таблицу 2 и Рисунок 6, вариант смеси 1 – 6. Только снижение количество битума, позволили получить более лучшие показатели по водонасыщению и остаточной пористости смеси, см. Таблицу 2 и Рисунок 6, вариант смеси 9, 10 и 11. Это говорит о невозможности использования данного метода для увеличения толщины битумной пленки без кардинальных изменений к требованию смеси.

Второй метод, увеличения пористости минеральной части за счет изменения гранулометрического состава смеси для вовлечения большего количества битума в смесь. Для этого были применены наработки зарубежных методов построения кривых.

Результаты и Обсуждение

Крупнозернистый плотный асфальтобетон Тип Б, содержит щебень в количестве от 40% до 50%, и является бескаркасной системой из щебня. Пористость для битума и поры для воздуха (остаточная пористость) формируется за счет гранулометрического состава песчаной части кривой с учетом занятых пор пылеватых частиц (менее 0,075 мм). Данный подход к проектированию смесей показан в системе подбора асфальтобетонных смесей в зарубежной литературе [2] [3], где вводится понятие «restricted zone», через которую нельзя проводить кривую гранулометрического состава (см. рис 1), так как в этом случае получается очень плотная смесь с отсутствием достаточной пористости минеральной части для создания вязущим необходимой толщиной асфальтовой пленки.

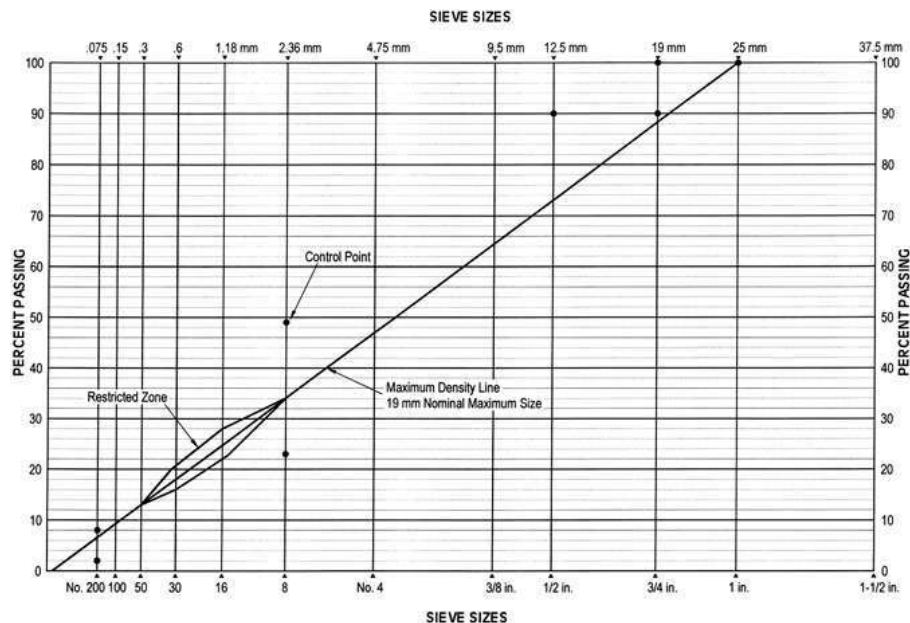


Рисунок 1 - Кривая гранулометрического состава

Для сравнения кривой крупнозернистой смеси Тип Б согласно СТ РК 1225, был взят аналог по крупному заполнителю в ASTM D 3515 [4] (см рисунок 2).

Кривизна гранулометрических кривых показывает:

- Существует небольшое перекрытие зон крупнозернистой смеси Тип Б согласно СТ РК 1225 и зоны ASTM D 3515.
- Количество частиц менее 0,075 мм у кривой ASTM D 3515 меньше, чем у кривой Тип Б согласно СТ РК 1225.

Более крутая кривая соответствует кривой ASTM D 3515, с большим содержанием щебня.

Это говорит о создании большей минеральной пористости смеси для вовлечения битума у гранулометрической кривой ASTM D 3515, по сравнению с кривой крупнозернистой смеси Тип Б согласно СТ РК 1225. При этом необходимо отметить, что кривые по ASTM D 3515 ближе находятся к каркасной системе, чем Тип Б.

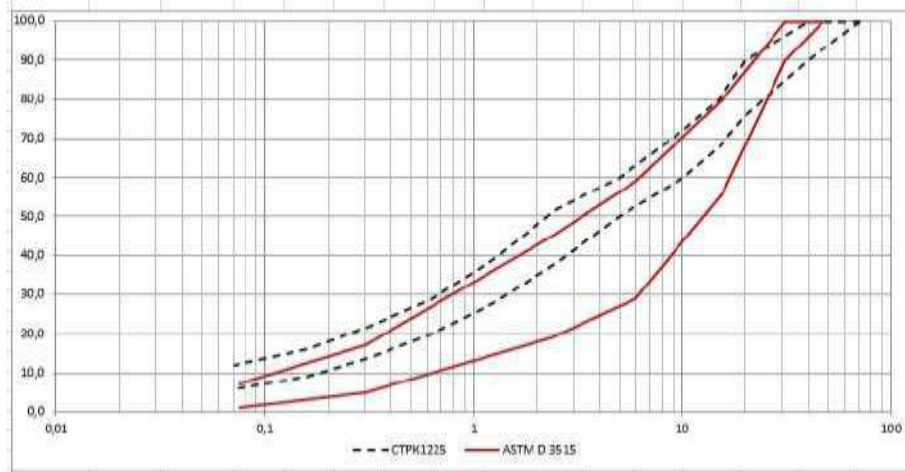


Рисунок 2 - Кривая крупнозернистой смеси

Если проанализировать гранулометрические кривые между крупнозернистыми смесями Тип А и Тип Б согласно СТ РК 1225, (см. Рисунок 3) то получим следующие выводы:

- Тип Б больше зависит от песчаной части, чем Тип А, так как содержание песчаной части в Тип Б составляет 50-60% в Тип А 40-50%. Однако несмотря на это кривизна кривой Тип А более лучшая для создания пористости минеральной части чем для Типа Б.

- Количество пылевой части (менее 0,075 мм) у Типа Б (6-12%) выше, чем у Типа А (4-10%). Чем больше количество пылевой части менее 0,075 мм, тем меньше пористости минеральной части, так как пыль заполняет ее.

Кривизна кривой песчаной фракции выше у Тип А, чем Тип Б.

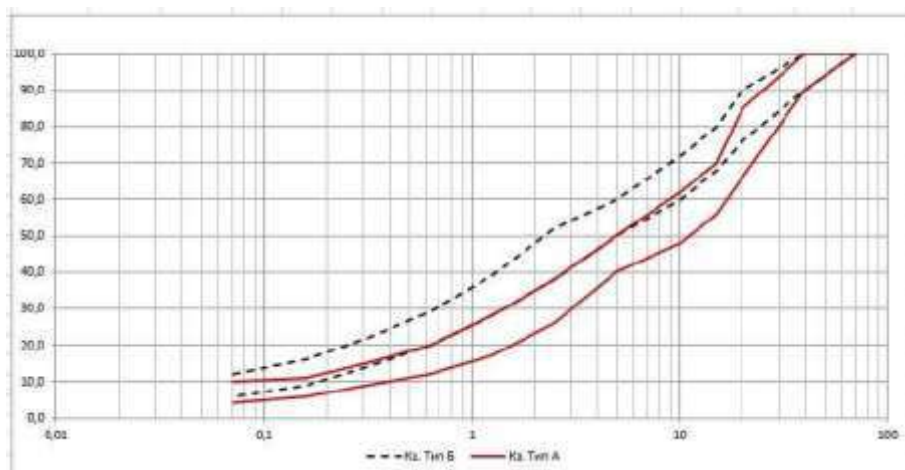


Рисунок 3 - Кривая между крупнозернистыми смесями

Следовательно пористости минеральной части образованной кривой гранулометрического состава Тип Б будет ниже, чем у Типа А.

Для определения возможности увеличения пленки асфальтового вяжущего в смеси, были проведены испытания с изменением количества битума и кривой

гранулометрического состава. Цель испытаний была увеличение пористости минеральной части для гарантированного вовлечения большего количества битума в смесь. Гранулометрический состав собирался из навесок на каждом сите, что позволило получать точную кривую для уменьшения погрешности получаемой кривой при дозировании по фракциям. Было испытано 13 вариантов смесей (см. таблица 1). Три варианта в пределах гранулометрического состава Тип Б (см. рисунок 4). Четыре варианта с отклонением от пределов гранулометрического состава Тип Б в районе щебеночной части и шесть вариантов с дополнительными отклонениями в районе песчаной части кривой (см. рисунок 5). При этом как в ASTM D 3515, было уменьшено количество минерального порошка и увеличена кривизна песчаной кривой. Во всех гранулометрических кривых содержание щебня было принято 45%, для соответствия требованиям Тип Б.

Таблица 1 - Данные применяемых вариантов с №1 по №13

Размер сит	Гранулометрический состав														
	ниж предел	верх предел	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3	Вар. 4	Вар. 5	Вар. 6	Вар. 7	Вар. 8	Вар. 9	Вар. 10	Вар. 11	Вар. 12	Вар. 13
70	100	100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
40	90	100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
20	76	90	83,0	81,0	83,0	81,0	76,0	76,0	76,0	70,0	70,0	83,0	65,0	65,0	65,0
15	68	80	74,5	72,5	76,0	77,0	71,0	65,5	65,5	70,0	70,0	74,5	62,0	62,0	62,0
10	60	72	66,0	64,0	69,0	73,0	66,0	55,0	55,0	70,0	70,0	66,0	59,0	59,0	59,0
5	50	60	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0
2,5	38	52	41,0	41,0	41,0	41,0	41,0	41,0	41,0	40,0	40,0	40,0	41,0	45,0	45,0
1,25	28	39	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	28,0	28,0	28,0	27,0	26,0	26,0
0,63	20	29	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	20,0	19,0	19,0	16,0	15,0	15,0
0,315	14	22	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	14,0	13,0	13,0	9,0	10,0	10,0
0,16	9	16	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	9,0	8,0	8,0	6,0	7,0	7,0
0,071	6	12	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	6,0	4,5	4,5	5,0	5,0	5,0
Битум (сверх 100%)	5 - 6,5%		6,10	6,10	6,10	6,10	6,10	6,10	5,75	5,75	5,3	5,3	5,3	6	5,75

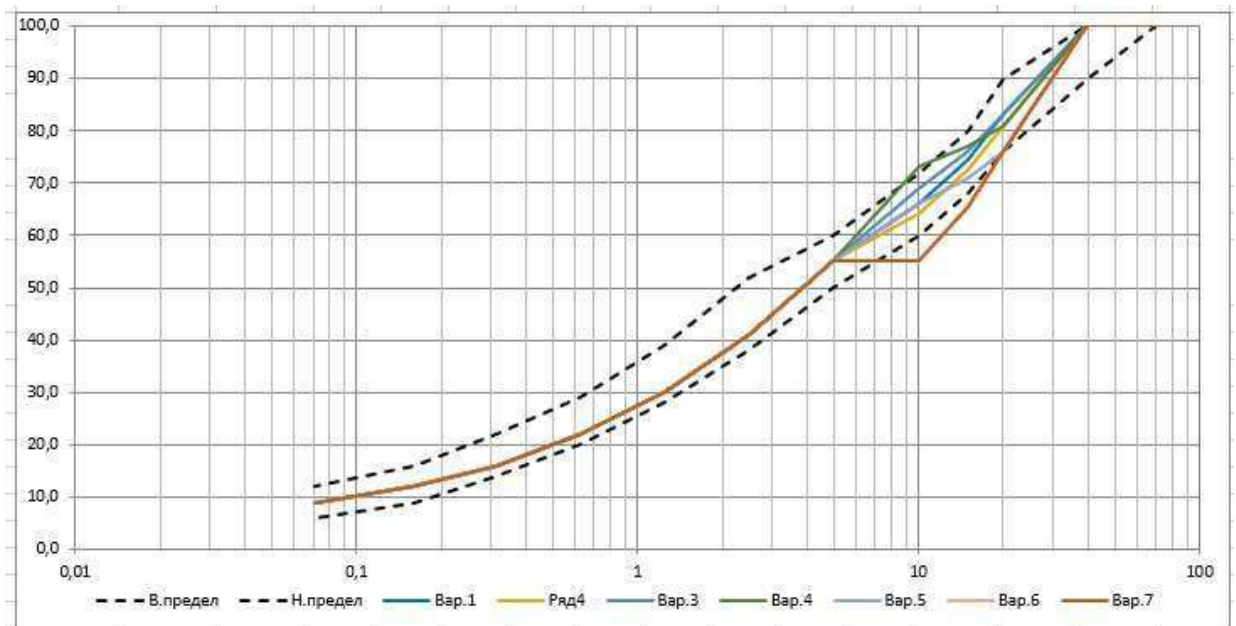


Рисунок 4 - Варианты кривой гранулометрического состава с №1 по №7

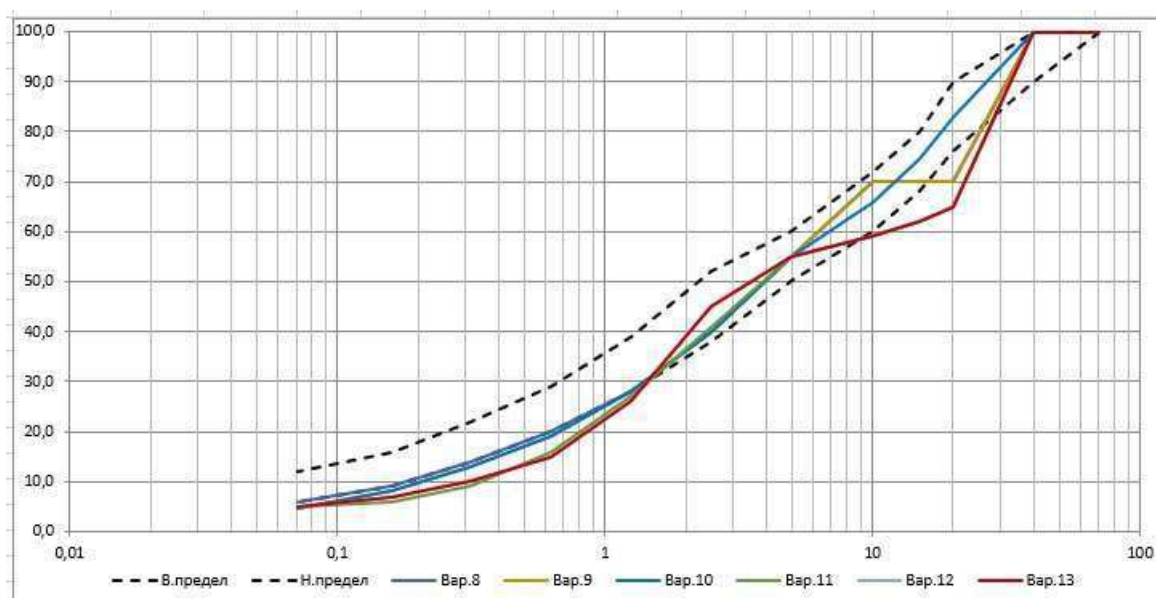
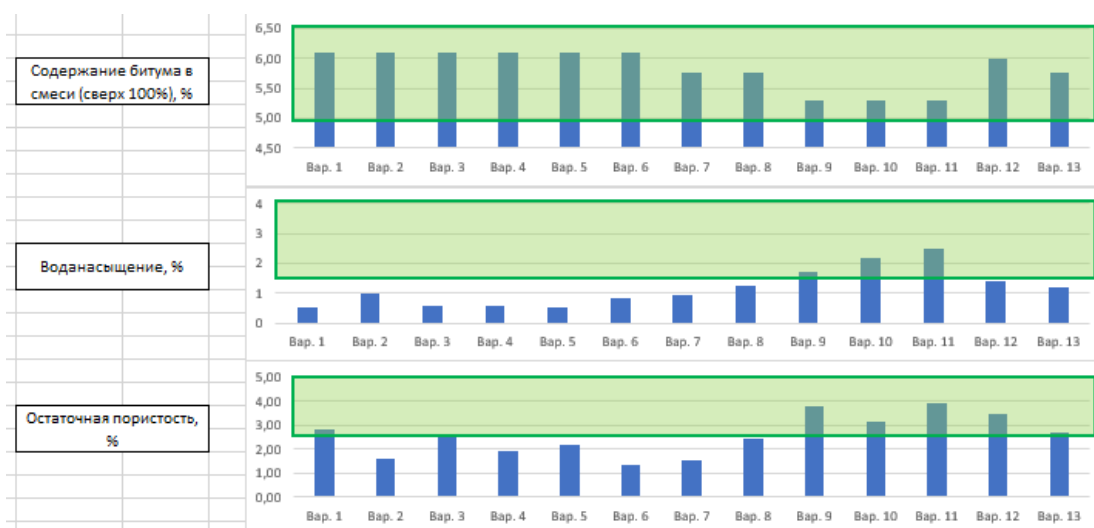


Рисунок 5 - Варианты кривой гранулометрического состава с №8 по №13

Таблица 2 - Лабораторные результаты вариантов с №1 по №13

Показатель	Ед. изм.	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3	Вар. 4	Вар. 5	Вар. 6	Вар. 7	Вар. 8	Вар. 9	Вар. 10	Вар. 11	Вар. 12	Вар. 13
Содержание битума (сверх 100%)	%	6,10	6,10	6,10	6,10	6,10	6,10	5,75	5,75	5,3	5,3	5,3	6	5,75
отношение пыль/битум		1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,57	1,04	0,85	0,85	0,94	0,83	0,87
Водонасыщение	%	0,55	0,99	0,57	0,58	0,55	0,83	0,96	1,26	1,7	2,2	2,52	1,39	1,22
Остаточная пористость	%	2,81	1,62	2,62	1,91	2,21	1,35	1,52	2,44	3,79	3,18	3,92	3,50	2,71
Пористость минеральной части	%	16,41	15,45	16,30	15,66	15,93	15,13	14,56	15,39	15,68	15,08	15,92	16,88	15,56
расчетная остаточная пористость при битуме 5,5%	%	4,15	2,99	3,87	3,24	3,56	2,74	2,05	3,00	3,34	2,78	3,64	4,69	3,32



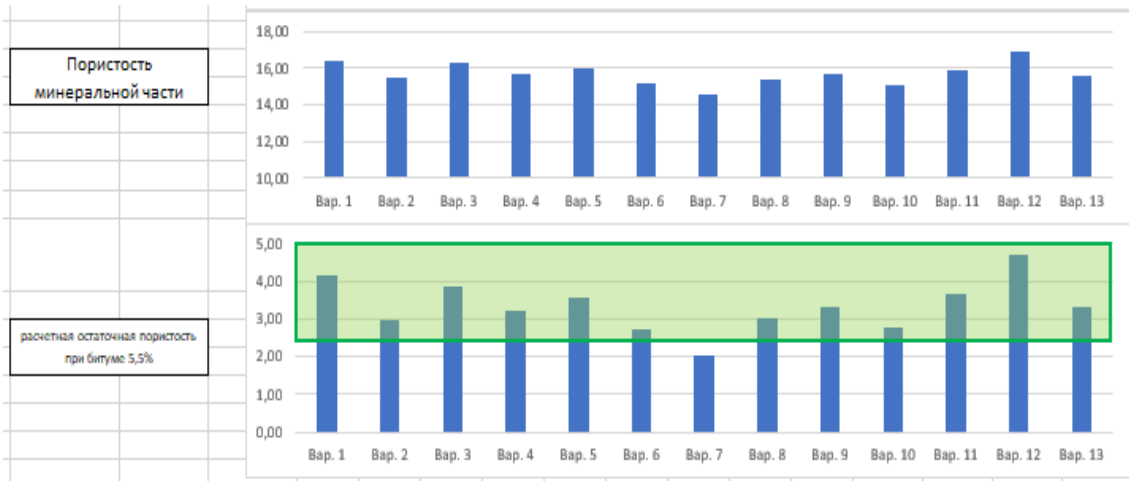
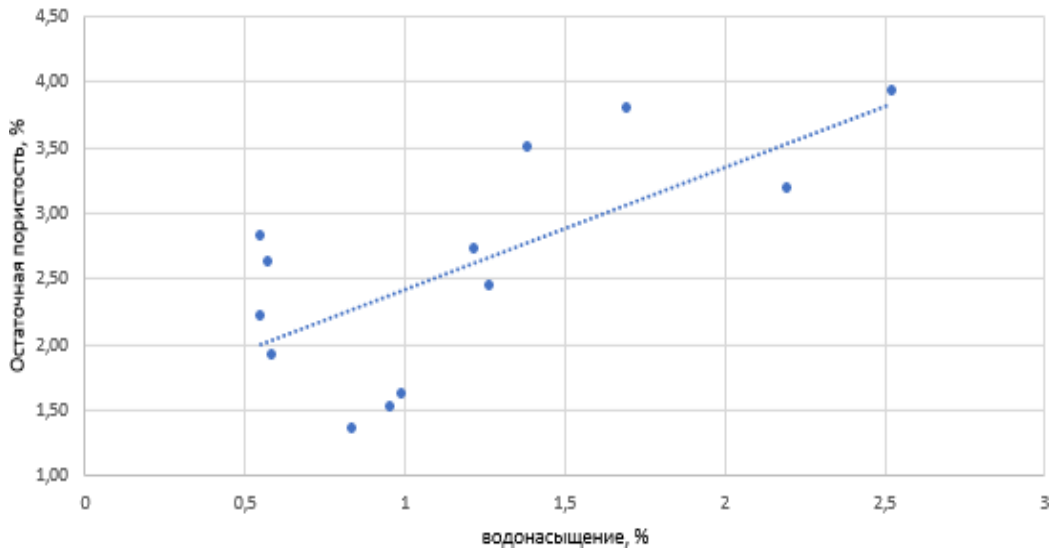
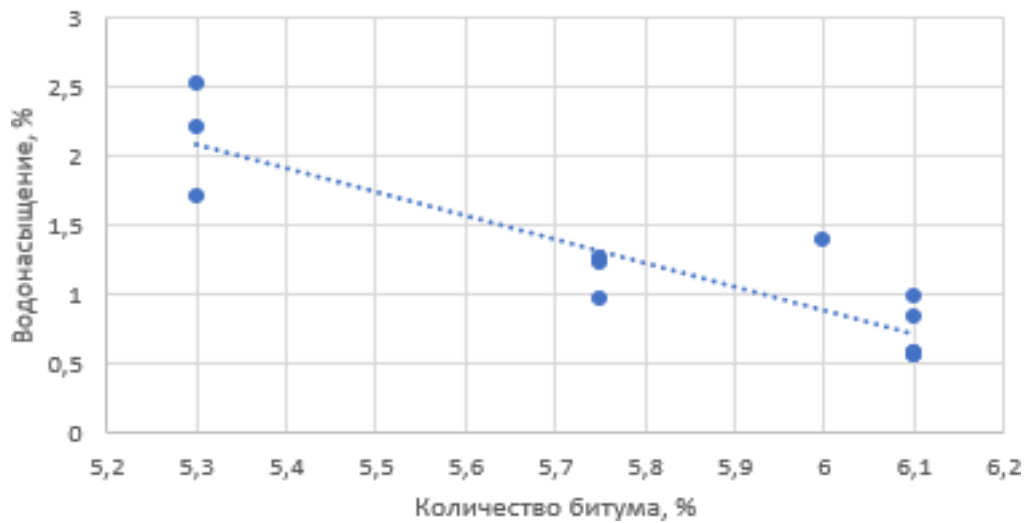


Рисунок 6 - Лабораторные результаты вариантов с №1 по №13

Зависимость между остаточной пористостью и водонасыщением



Зависимость между водонасыщением и битумом



Зависимость между остаточной пористостью и битумом

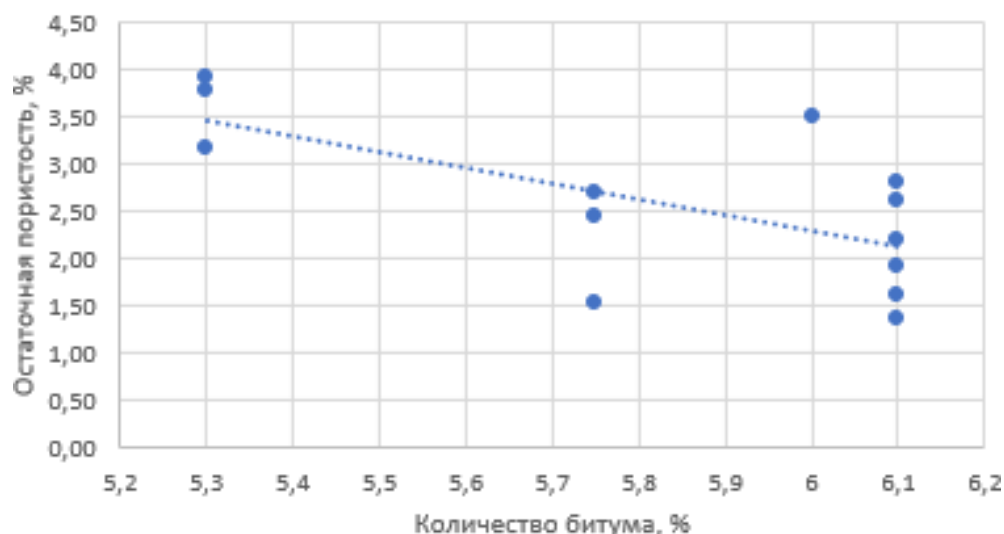


Рисунок 7 - Зависимость между остаточной пористостью, водонасыщением и количеством битума

№ п/п вариантов	единичный показатель, X	Средняя величина X_{cp}	$X - X_{cp}$	$(X - X_{cp})^2$	
1	4,15	3,336	0,814	0,662	
2	2,99	3,336	-0,346	0,120	
3	3,87	3,336	0,534	0,285	
4	3,24	3,336	-0,096	0,009	
5	3,56	3,336	0,224	0,050	
6	2,74	3,336	-0,596	0,355	
7	2,05	3,336	-1,286	1,654	
8	3,00	3,336	-0,336	0,113	
9	3,34	3,336	0,004	0,000	
10	2,78	3,336	-0,556	0,309	
11	3,64	3,336	0,304	0,092	
12	4,69	3,336	1,354	1,833	
13	3,32	3,336	-0,016	0,000	
Средняя величина	3,336				
Диапазон выборки вариантов		1-13.	1-5.	1-7.	8-13.
Средняя величина		3,336	3,56	3,23	3,46
Сумма $(X - X_{cp})^2$		5,484	1,127	3,136	2,348
Среднеквадратичное отклонение σ		0,64949138	0,474660389	0,669339072	0,625540319
Среднеквадратичное отклонение умноженное на 3* σ		1,948474141	1,423981168	2,008017215	1,876620956
среднее квадратическое отклонение S		0,180136498	0,212274579	0,252986389	0,255375766
В. Предел		5,285	4,986	5,237	5,338
н. предел		1,388	2,138	1,221	1,585

Рисунок 8 - Расчет среднеквадратичных отклонений показателей

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- изменение гранулометрического состава не дало сильных изменений в пористости минеральной части и не позволило гарантированно больше вовлечь битума в смесь для увеличения толщины пленки, вяжущего;
- отказ от непрерывной гранулометрии в щебеночной части (вариант 7) показал не лучший результат по остаточной пористости, что говорит об отсутствии необходимости его применения;
- имеется возможность увеличения пределов в щебеночной части кривой в целях использования большего количество фракции 20-40 мм с уменьшением количество фракций

5-10 и 10-20 мм. Это позволит произвести экономию мелких фракций щебня и использовать их для верхнего слоя покрытия;

- уменьшение минерального порошка и увеличение кривизны кривой песчаной части, не привело к существенным изменениям показателям, что также говорит об отсутствии необходимости данных изменений. Уменьшение количества минерального порошка, также отрицательно скажется на вязкости асфальтового вяжущего (минпорошок + битум) и повлияет в сторону понижения прочностные показатели асфальтового вяжущего.

Наибольший интерес представляет разброс данных. Для их анализа была рассчитана остаточная пористость при постоянном количестве битума 5,5 % для всех вариантов, см. Таблицу 2 и Рисунок 6. Результаты расчета среднеквадратичного отклонения показали нормальные отклонения расчетных данных находящихся в диапазоне ЗБ (вероятность появления 99,73 %), от 1,388 до 5,285 при средней величине 3,336 для выборки вариантов с №1 по №13 (см. Рисунок 8). Для других выборок диапазон разброса данных ЗБ также велик. Учитывая диапазон требований по СТ РК 1225 для остаточной пористости от 2,5 до 5 % и фактический диапазон с учетом вероятности 99,73 %, можно сказать о фактическом превышении диапазона и в данном случае необходимо использовать подход для проектирования состава с учетом нормальных отклонений ЗБ в показателях, зависящих от процесса. То есть нахождение пристрелочного показателя (среднего значения), при котором будет удовлетворяться требование по диапазону отклонений с учетом фактических нормальных отклонений при вероятности 99,73 %. Также необходимо прописать правила контроля и регулировки смеси при выпуске на асфальтовом заводе с учетом нормальных отклонений ЗБ и назначения среднего проектного значения, так как внесение изменений при нормальных отклонения процесса могут привести к выходу за границы требований СТ РК 1225 по остаточной пористости и водонасыщению, что иногда наблюдается на проектах. Данный феномен очень хорошо описан в примере Деминга «Эксперимент с воронкой» [6].

Третий метод, в изменении требований к смеси для возможности увеличения количества битума в смеси. Анализ зависимости количества битума в смеси и показателей водонасыщения (от 1.5 % до 4 %), показали невозможность получения требуемых показателей по водонасыщению при рекомендованном количестве битума 6,1% (согласно СТ РК 1225 рекомендовано битум от 5 % до 6,5 %). Требования по водонасыщению и остаточной пористости ограничивают возможность вовлечения большего количества битума в смесь при рекомендуемом количестве битума, а как следствие приводит к более тонкой пленке вяжущего и разрушения крупнозернистого асфальтобетона Тип Б в промежуточном слое. В данном случае рекомендуется ввести понятие проектирование смеси с показателями по водонасыщению от 0,75 % до 2 %, а остаточную пористость от 2 % до 3,5 % (см. Рисунок 7). При этом при контроле выпуска смеси и уложенной на дорогу показатели по водонасыщению (до 4,5 %) и остаточной пористости (до 5 %) оставить указанные в СТ РК 1225. Рекомендованное количество битума установить предел от 5,5 % до 6,5 %. Снижение показателей по водонасыщению и остаточной пористости позволит уменьшить вероятности проникновения воды в промежуточный слой и способствовать его разрушению.

Заключение

Возникающие разрушения в промежуточном слое из крупнозернистого асфальтобетона Тип Б, связаны с попаданием воды в промежуточный слой и перехода ее в агрессивное состояние для битума в результате нагрева в летний период покрытия и содержащейся в ней воды. Тонкая пленка асфальтового вяжущего не выдерживает агрессивной среды и разрушается, при этом асфальтобетон распадается на отдельные гранулы. В целях недопущения появления данных дефектов в будущем рекомендуется:

- ограничить попадание воды через верхний слой покрытия, путем выполнения его из асфальтобетона согласно СТ РК 1225, и увеличения расхода, вяжущего в подгрунтовке

выполняемой между слоями покрытия. Запретить укладку щебеночно-мастичного асфальтобетона на нижний слой покрытия из крупнозернистого асфальтобетона Тип Б;

- повысить нижний предел содержания битума в крупнозернистом асфальтобетоне Тип Б до 5,5 %, также понизить требования по нижнему пределу водонасыщения до 0,75 % и остаточной пористости до 2 %. Также внести понятие пределы для проектирования и контроля смеси при выпуске и устройства слоя. Для проектирования смеси показатели по водонасыщению изменить на диапазон от 0,75 % до 2 %, остаточную пористость от 2 % до 3,5 %, рекомендованному содержанию битума от 5,5 % до 6,5 %. При этом при контроле выпуска смеси и уложенной на дорогу показатели по водонасыщению (до 4,5 %) и остаточной пористости (до 5 %) оставить указанные в СТ РК 1225;

- в целях учета среднеквадратичных отклонений показателей асфальтобетонной смеси, внести требования по контролю приготовления смеси на асфальтобетонном заводе на основании показателей дозаторов и отчетов компьютерного дозирования, а также принимаемых мероприятий в случае получения данных отклонениям от требований смеси выше требуемых.

Несмотря на множество типов смесей, смеси типа Б необходимо отнести к отдельным типам асфальтобетонных смесей позволяющих получать экономический эффект в регионах, где отсутствует щебеночный материал с повышенными прочностными характеристиками. Экономия на транспортных расходах существенно может отличаться по стоимости асфальтобетона Типа Б по сравнению с Типом А, поэтому улучшение сопротивляемости нагрузкам и долговечности асфальтобетоном типа Б являться прерогативой для развития асфальтобетонов в дорожной отрасли.

Список литературы

1. Веренько В. А., Сизов В. Д. Особенности тепло-влажностного режима пористых слоев асфальтобетонных покрытий // Строительство и архитектура. - УДК 625.855.3. <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-teplovlazhnostnogo-rezhima-poristykh-sloev-asfaltobetonnyh-pokrytiy/viewer> - **электронный ресурс**
2. Hot-Mix Asphalt Paving Handbook 2000: AC 150/5370-14A Appendix 1. Washington, DC: U.S. Army Corps of Engineers; 2000. - ISBN 0-309-07157-7. - **книга (на англ)**
3. Asphalt Institute. MS-2 Asphalt Mix Design Methods. 7th ed. Lexington, KY: Asphalt Institute; 2014. ISBN 978-1-934154-70-0. - **книга (на англ)**
4. ASTM D3515-96. Standard Specification for Hot-Mixed, Hot-Laid Bituminous Paving Mixtures. West Conshohocken, PA: ASTM; 1996. - **международный стандарт**
5. СТ РК 1225-2019. Смесей асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия. - Астана: Комитет технического регулирования и метрологии МТИ РК; 2019. - **государственный стандарт**
6. Деминг У. Э. Новая экономика / 2-е изд. - М.: Эксмо; 2006. - **книга**

Сведения об авторе (на трех языках):

Шильников Вадим Юрьевич - директордың кеңесшісі, «Синь-Син» Құрылыс және Даму Қытай Компаниясы ЖШС, Астана қ., Қазақстан Республикасы, shilnikov@rambler.ru

Шильников Вадим Юрьевич - советник директора, ТОО «Китайская компания по строительству и развитию «Синь-Син», г. Астана, Республика Казахстан, shilnikov@rambler.ru

Shilnikov Vadim Yuryevich - Advisor to the Director, LLP «Chinese Construction and Development Company Xin-Xin», Astana, Republic of Kazakhstan, shilnikov@rambler.ru

Вклад авторов:

Шильников В. Ю. - разработка концепции исследования, сбор и анализ экспериментальных данных, подготовка гранулометрических кривых, проведение

лабораторных испытаний, интерпретация результатов, формирование выводов и рекомендаций, подготовка и редактирование рукописи.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Использование искусственного интеллекта (ИИ): Авторы заявляют, что не использовали искусственный интеллект.

АСФАЛЬТБЕТОННЫҢ АРАЛЫҚ ҚАБАТЫНЫҢ БҰЗЫЛУ СЕБЕПТЕРІ

В.Ю. Шильников^{1*}

^{1*}ЖШС «Қытайлық Синьсин Құрылыс және Дамыту Компаниясы», Астана, Қазақстан

*Хат алмасушы автор: shilnikov@rambler.ru

Аннотация. Бұл жұмыста пористы негіз бен үстіңгі қабат арасындағы аралық асфальтбетон қабатының бұзылу себептері зерттелді. Негізгі зақымдану механизмі аралық қабатқа ылғалдың еніп, жаз мезгілінде қызуы нәтижесінде битумның шайылып, қоспаның түйірлерге бөлінуімен байланысты екені анықталды. Дән құрамын және байланыстырғыш мөлшерін талдау қолданыстағы нормативтік талаптардың материалдың төзімділігін арттыруға қажетті битум қабықшасының қалыңдығын ұлғайту мүмкіндігін шектейтінін көрсетті. Зақымдануды болдырмау үшін үстіңгі қабатты тығыз ұсақ түйірлі асфальтбетонға ауыстыру, астыңғы қабатқа битум мөлшерін арттыру және қоспаларды жобалау кезінде битум, су сіңіру және қалдық кеуектілік нормаларын қайта қарау ұсынылады. Ұсыныстар асфальтбетонның суға төзімділігі мен ұзақ мерзімділігін арттыруға, сондай-ақ жоғары берікті қиыршық тас қоры шектеулі аймақтарда оның экономикалық тартымдылығын сақтауға бағытталған.

Түйін сөздер: асфальтбетон, аралық қабат, битум, су сіңіру, ұзақ мерзімділік, кеуектілік, түйір құрамы.

CAUSES OF INTERMEDIATE ASPHALT CONCRETE LAYER FAILURE

V.Y. Shilnikov^{1*}

¹LLP «Chinese Xinxin Construction and Development Company», Astana, Kazakhstan

*Corresponding author: shilnikov@rambler.ru

Abstract. This study examines the causes of damage in the intermediate asphalt concrete layer located between a porous base and the upper stone mastic asphalt layer. The main damage mechanism was found to be moisture penetration into the intermediate layer, followed by heating during the summer, leading to bitumen leaching and the disintegration of the mix into separate particles. Analysis of the gradation and binder content showed that current standards limit the ability to increase the thickness of the bitumen film, which is necessary to improve material durability. To prevent such damage, it is proposed to replace the upper layer with dense fine-grained asphalt concrete, increase binder application in the underlying layer, and revise standards for bitumen content, water absorption, and residual air voids during mix design. These recommendations aim to enhance the water resistance and durability of asphalt concrete while maintaining its economic attractiveness in regions with limited supplies of high-strength aggregate.

Keywords: asphalt concrete, intermediate layer, bitumen, water absorption, durability, porosity, gradation.



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/>).



<https://doi.org/10.71031/qhsi.2025.v1.i4.003>

ГИДРОТЕХНИКАЛЫҚ БЕТОНДАРДЫҢ СУ ӨТКІЗБЕУ ҚАСИЕТІН ЖӘНЕ АЯЗҒА ТӨЗІМДІЛІГІН АРТТЫРУ ӘДІСТЕРІ

ORCID: 0009-0000-2626-888X М.Ж. Ануарбеков¹, ORCID: 0000-0002-1396-1973
Д. Н. Кадырханова^{1*}, ORCID: 0009-0001-6334-9731
А.А. Утебаев¹

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

*Корреспондент автор: dana.kad98@gmail.com

Аннотация. Бұл мақала гидротехникалық бетондардың су өткізбейтіндігі мен аязға төзімділігін арттырудың заманауи тәсілдерін зерделеуге арналған. Зерттеудің мақсаты – минералды пуццолан қоспалары мен талшықты арматураны қолдану арқылы бетонның микроқұрылымын тығыздау және оның ұзақ мерзімді беріктігін жоғарылатудың тиімділігін анықтау. Жұмыста халықаралық тәжірибелер, соның ішінде Канада, Жапония және Қытай елдеріндегі технологиялар талданып, Қазақстан жағдайына бейімдеу мүмкіндіктері қарастырылды.

Методология ретінде Сем I 42,5 Н цементі негізінде үш түрлі бетон құрамы дайындалып, олардың жалпы және капиллярлық су сіңіру қасиеттері ГОСТ стандарттарына сәйкес зерттелді. Минералды қоспа ретінде 20 % күл-унос, ал жарықшаға төзімділікті арттыру үшін 0,9 кг/м³ полипропилен талшығы қолданылды.

Нәтижелер күлдің енгізілуі суды сіңіруді шамамен 15 % төмендететінін, ал күл мен талшықты бірге қолдану бұл көрсеткішті 21 % - ға дейін азайтатынын көрсетті. Капиллярлық су сіңіру мөлшері де 29 % төмендеді. Бұл қоспалар бетонның суға және аязға төзімділігін арттыруда жоғары тиімді екенін дәлелдеді.

Зерттеудің практикалық маңызы – гидротехникалық құрылыстардың ұзақ мерзімділігі мен сенімділігін арттыру, сондай-ақ цементті өнеркәсіптік қалдықтармен ішінара алмастыру арқылы материал құнын төмендету.

Кілт сөздер: гидротехникалық бетон, су өткізбейтіндік, аязға төзімділік, күл-унос, полипропилен талшығы, капиллярлық су сіңіру, пуццолан қоспалары.

Кіріспе

Гидротехникалық құрылыстардың беріктігі оларды қауіпсіз және үнемді пайдаланудың негізгі факторларының бірі болып табылады. Бөгеттер, құлыштар, теңіз толқындары, каналдар мен айлақ құрылыстары судың тұрақты әсеріне, температураның өзгеруіне, механикалық жүктемелерге және агрессивті химиялық ортаға ұшырайды. Солтүстік аймақтар мен биік таулы аймақтарға тән климаттық ауытқулар жағдайында бетонның өзара байланысты екі қасиеті - су өткізбейтін және аязға төзімді.

Суға төзімділіктің бұзылуы ылғалдың бетон тесіктері мен капиллярларына енуіне әкеледі, бұл арматураның коррозия процестерін жеделдетіп қана қоймайды, сонымен қатар

мұздату кезінде материалдың бұзылуына алғышарттар жасайды. Циклдік мұздату және еріту жағдайында бетон тесіктеріндегі су кристалданады, көлемі ұлғаяды және ішкі кернеулерді тудырады, нәтижесінде жарықтар мен беріктік жоғалады. Уақыт өте келе бұл құрылымдардың тез қартаюына, олардың жұмыс сенімділігінің төмендеуіне және тіпті төтенше жағдайларға әкелуі мүмкін.

Соңғы онжылдықтарда әлемдік құрылыс тәжірибесінде бетондардың су мен төмен температураға төзімділігін арттыру мақсатында оларды өзгерту әдістері белсенді дамып келеді. Химиялық қоспалар, минералды микро және наномодификаторлар, сондай - ақ цемент тасының микроқұрылымын мақсатты түрде өзгертуге, кеуектілікті төмендетуге және материалдың тығыздығын арттыруға мүмкіндік беретін күрделі минералды байланыстырғыштар әзірленіп, қолданылады.

Нақты пайдалану жағдайында сынақтан өткен шетелдік технологиялар ерекше қызығушылық тудырады. Сонымен, Норвегия мен Канадада қатты аязда және тұздардың жоғары әсерінде сәтті жұмыс істейтін гидротехникалық қондырғыларға арналған бетон құрамы жасалды. Жапонияда ылғал мен агрессивті заттардың енуінен қосымша қорғауды қамтамасыз ететін титан нанодиоксидін қолдана отырып, теңіз құрылыстарына арналған шешімдер жүзеге асырылды. Қытайда төмен температура мен ультракүлгін сәулеленудің жоғарылауын біріктіретін биік таулы жерлерде жұмыс істейтін бөгеттер мен су тораптарына арналған бетонды модификациялау жүйелері енгізілді.

Бұл жұмыстың мақсаты-гидротехникалық бетондардың су өткізбейтіндігі мен аязға төзімділігін арттырудың заманауи әдістерін жүйелеу және талдау, халықаралық тәжірибе мысалында әртүрлі қоспалар мен модификаторлардың тиімділігін қарастыру, сондай-ақ Қазақстанның климаттық және ресурстық жағдайлары үшін осы технологияларды бейімдеу мүмкіндіктерін анықтау.

Hydro-Québec компаниясының бірқатар жобалары, сондай – ақ Британдық Колумбия провинциясында орналасқан су тораптары бірнеше рет мұздату-еріту циклдары жағдайында құрылымның жоғары тығыздығы мен беріктігін қамтамасыз етуге бағытталған гидротехникалық бетон құрамдарын енгізді. Бұл технологиялардың негізі су-цемент қатынасын 0,35-0,40 деңгейіне дейін төмендету болып табылады, бұл капиллярлық өткізгіштікті айтарлықтай төмендетеді және цемент тасының кеуек жүйесіне ылғалдың енуін шектейді.

Минералды компоненттер ретінде позолан қоспалары оңтайландырылған дозаларда кеңінен қолданылады: тұтқыр массаның 15-20 % мөлшерінде күл-уноса және 5-8 % көлемінде микрокремнезем. Оларды қолдану микропораларды толтыруға, қайталама ылғалдандыруды күшейтуге және қосымша кальций гидросиликатының (C–S–H) түзілуіне ықпал етеді, бұл су өткізбейтіндігін де, аязға төзімділігін де жақсартады.

Нақты пайдалану жағдайында сынақтан өткен шетелдік технологиялар ерекше қызығушылық тудырады. Сонымен, Норвегия мен Канадада қатты аязда және тұздардың жоғары әсерінде сәтті жұмыс істейтін гидротехникалық қондырғыларға арналған бетон құрамы жасалды. Жапонияда ылғал мен агрессивті заттардың енуінен қосымша қорғауды қамтамасыз ететін титан нанодиоксидін қолдана отырып, теңіз құрылыстарына арналған шешімдер жүзеге асырылды. Қытайда биік таулы жерлерде жұмыс істейтін бөгеттер мен су тораптарына арналған бетондарды модификациялау жүйелері енгізілді, мұнда төмен температура біріктіріліп, Домна түйіршікті қожының (GGBS) 40 % - на дейін қосылып, беріктіктің баяу, бірақ біркелкі жиынтығын және құрылымның кеш қатаю кезеңінде айтарлықтай тығыздалуын қамтамасыз етеді. GGBS қолдану сонымен қатар бетонның сульфат коррозиясына төзімділігін арттырады, бұл минералданған және коррозиялық су орталарының әсерінен жұмыс істейтін гидротехникалық қондырғылар үшін маңызды фактор болып табылады [1].

Жиі мұздату - еріту циклдары (F/T) жағдайында жұмыс істеу үшін канадалық нормативтік тәсілдер қатайтылған бетон құрылымында жабық ауа тесіктерінің оңтайлы жүйесін қалыптастыруды көздейді. Тартылған ауаның нысаналы құрамы 5-7%

диапазонында белгіленеді, бұл ретте spacing factor параметрі (кеуектер арасындағы орташа қашықтық) бақыланады, ол 200 мкм аспауы тиіс. Ауа жүйесінің мұндай конфигурациясы ішкі кернеулер мен микрокректердің пайда болу қаупін азайта отырып, мұздатылған кезде судың кеңеюін өтеу үшін резервтік қуыстардың жеткілікті көлемінің болуын қамтамасыз етеді.

Қажетті сипаттамаларға қол жеткізу үшін әр түрлі илеу және қатаю температураларында тері тесігінің пайда болуының тұрақтылығымен ерекшеленетін ағаш қышқылдарының шайырларына негізделген ауа тартатын қоспалар қолданылады. Мұндай қоспаларды қолдану ауа құрылымының тұрақтылығын бұзбайтын және су-цемент қатынасы төмендеген кезде қоспаның жоғары жұмыс қабілеттілігін сақтауға мүмкіндік беретін үйлесімді суперпластификаторларды енгізумен қатар жүреді.

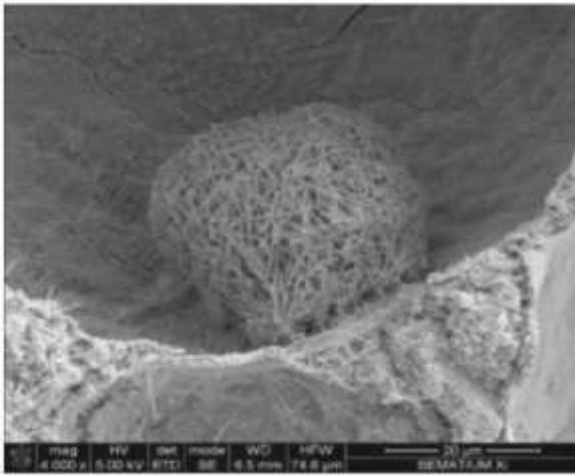
Ауа жүйесінің параметрлерін бақылау жаңа қоспа сатысында да (мысалы, ASTM с 231 қысымы сияқты далалық әдістерді пайдалана отырып) және қатайтылған бетонда - сызықтық қима әдісімен және ASTM с 457 стандарты бойынша кеуектерді санау арқылы жүзеге асырылады. Мұндай екі сатылы мониторинг технологиялық параметрлерді уақтылы түзетуге және сериялық өндірісте бетонның тұрақты сапасын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді [2].

Бұл жұмыстың мақсаты-гидротехникалық бетондардың су өткізбейтіндігі мен аязға төзімділігін арттырудың заманауи әдістерін жүйелеу және талдау, халықаралық тәжірибе мысалында әртүрлі қоспалар мен модификаторлардың тиімділігін қарастыру, сондай-ақ Қазақстанның климаттық және ресурстық жағдайлары үшін осы технологияларды бейімдеу мүмкіндіктерін анықтау.

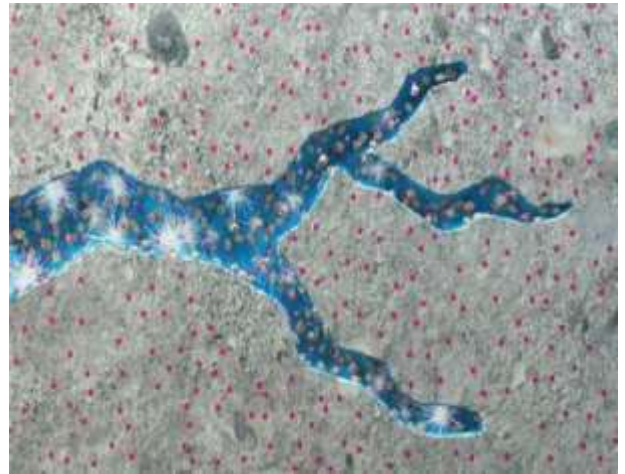
Hydro - Québec компаниясының бірқатар жобалары, сондай - ақ Британдық Колумбия провинциясында орналасқан су тораптары бірнеше рет мұздату - еріту циклдары жағдайында құрылымның жоғары тығыздығы мен беріктігін қамтамасыз етуге бағытталған гидротехникалық бетон құрамдарын енгізді. Бұл технологиялардың негізі су-цемент қатынасын 0,35-0,40 деңгейіне дейін төмендету болып табылады, бұл капиллярлық өткізгіштікті айтарлықтай төмендетеді және цемент тасының кеуек жүйесіне ылғалдың енуін шектейді.

Минералды компоненттер ретінде поцзолан қоспалары оңтайландырылған дозаларда кеңінен қолданылады: тұтқыр массаның 15-20 % мөлшерінде күл-уноса және 5-8 % көлемінде микрокремнезем. Оларды қолдану микропораларды толтыруға, қайталама ылғалдандыруды күшейтуге және қосымша кальций гидросиликатының (C-S-H) түзілуіне ықпал етеді, бұл су өткізбейтіндігін де, аязға төзімділігін де жақсартады.

Канададағы гидротехникалық құрылыстардың беріктігін арттырудың қосымша бағыты, әсіресе жөндеу жұмыстарын жүргізу үшін қол жетімділігі шектеулі шалғай объектілерде интегралды кристалды Гидроизоляцияны қолдану болып табылады (хурех, Kryton және т.б. бренд атаулары). Бұл материалдар бетон қоспасының құрамына құрғақ ұнтақ қоспалары түрінде енгізіледі немесе қатаюдың алғашқы кезеңдерінде беткі сіндіру ретінде қолданылады.



1 - сурет. Кристалды гидроокшаулағыш бетон матрицасының микроқұрылымы (Хурех), 28 күн, × 5000



2 - сурет. Интегралды кристалды гидроизоляцияның әсер ету механизмінің схемасы

SEM-судың және агрессивті иондардың енуіне жол бермейтін ерімейтін кристалдармен кеуектердің толтырылуын көрсететін сурет.

Белсенді химиялық қосылыстардың бетон тесіктеріне енуі және гидратталған цемент өнімдерімен әрекеттесу нәтижесінде кристалдық құрылымның түзілуі көрсетілген.

Олардың әсер ету механизмі цемент тасының капиллярлық-кеуекті құрылымындағы ерімейтін кристалды қосылыстардың өсуіне негізделген. Бұл кристалдар қоспаның белсенді компоненттерінің цементті ылғалдандыру өнімдерімен және кеуекті сұйықтықта болатын иондармен әрекеттесуі нәтижесінде пайда болады. Микропоралар мен капиллярларды толтыру арқылы олар су мен еріген тұздардың көші-қонына кедергі келтіретін тығыз тосқауыл жасайды.

Мұндай технологияның басты артықшылығы - өзін-өзі емдеу-ылғалмен қайта байланыста болған кезде кристалдану процесі қайта басталады, бұл ені 0,4 мм-ге дейінгі микрокректерді блоктауға және осылайша материалдың су өткізбейтіндігін сыртқы араласусыз қалпына келтіруге мүмкіндік береді. Қолдану тәжірибесі көрсеткендей, мұндай жүйе суды сіңіру коэффициентін және сүзу коэффициентін тиімді төмендетеді, сонымен қатар өзгермелі ылғалдандыру және қысымды судың әрекеті жағдайында бетонның қызмет ету мерзімін арттырады [3].

Квебек провинциясының солтүстік аудандарының қатал климаты жағдайында, гидротехникалық қондырғылар қарқынды мұздату–еріту циклдарына, мұздануға және мұздың түсуіне ұшырайды, бетон беттерін ылғалмен тікелей байланыста болудан және температураның күрт өзгеруінен қорғауға ерекше назар аударылады.

Бірқатар бөгеттер мен су төгетін құрылыстарда келесі шешімдер сыналды және енгізілді:

- Полиуретан немесе поливинилхлорид (ПВХ) негізіндегі мембраналық жабындар, олар қатты су өткізбейтін тосқауыл жасайды және ылғалдың бетонның беткі қабаттарына енуіне жол бермейді.

- Қорғаныс жабынының қосымша икемділігін қамтамасыз ететін бүріккіш эластомерлі қабаттар температура градиенттерін төмендетеді және нәтижесінде термиялық крекинг қаупін азайтады.

- Бүріккіш әсер ету аймақтарына орналастырылған түйіршікті оқшаулағыш материалдар (минералды немесе полимерлі), бұл бетон элементтерінің циклдік сулану және кату қарқындылығын төмендетуге мүмкіндік береді.

Сынақтар көрсеткендей, мұндай жабындар мен оқшаулау жүйелерін кешенді қолдану құрылымдардың қызмет ету мерзімін 20-30 % - ға ұзартуға мүмкіндік береді, бұл судың

өзгермелі деңгейі мен мұз әсерінің аймақтарындағы бетонның деградация қарқынын төмендетеді [4].

Канаданың бірқатар гидротехникалық нысандарында жүргізілген пайдалану бақылаулары мен зертханалық сынақтардың нәтижелері поззолан қоспаларын кешенді қолдану және интегралды кристалды гидрооқшаулау кезінде бетонның ұзақ мерзімді өнімділігінің айтарлықтай жақсарғанын көрсетеді. Атап айтқанда, келесі көрсеткіштер тіркелді:

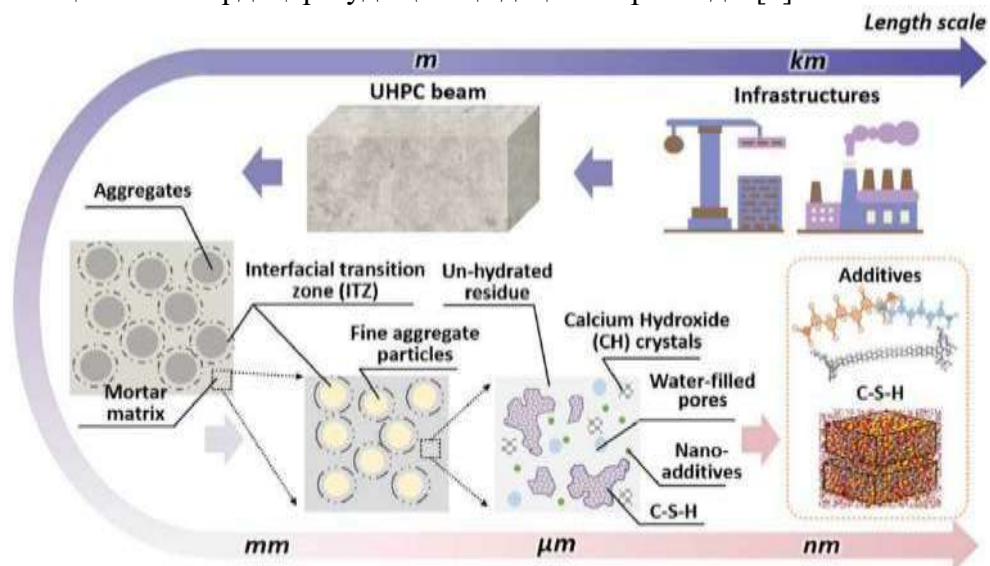
- Су өткізбейтін брендтің W8-ден W16-ға дейін өсуі, бұл цемент тасын поззоландармен тығыздаудың және капиллярлық кеуектердің Кристалл түзетін компоненттермен бітелуінің бірлескен әсеріне байланысты.

- Ауа кеуектері жүйесін оңтайландыру кезінде аязға төзімділікті F300–ден F600-ге дейін арттыру, бұл жиі мұздату-еріту циклдары жағдайында бетон ресурсын айтарлықтай арттыруға мүмкіндік береді.

- RCPT (ASTM C1202) әдістемесіне сәйкес сынақ нәтижелері бойынша хлоридтердің енуін 50 - 70 % - ға төмендету, бұл су деңгейінің өзгермелі аймақтарында арматураның коррозиясын болдырмаудың негізгі факторы болып табылады.

Осылайша, канадалық тәжірибе минералды қоспалар мен заманауи терең гидрооқшаулағыш жүйелердің интеграциясы қатал климат жағдайында су өткізбейтіндігін, аязға төзімділігін және хлорид агрессиясына төзімділігін айтарлықтай арттыруға мүмкіндік беретінін көрсетеді [4].

Жапонияда Ultra-High Performance fiber Reinforced Cementitious Composites (UHPRC) технологиялары белсенді дамып келеді, олар жоғары беріктікті, төмен кеуектілікті және жарыққа төтеп беру қабілетін біріктіреді. Бұл материалдар созылу кезінде "strain–hardening" әсерін тудыратын C-S-H және талшықтардың түзілуі арқылы тығыздалған микроқұрылымның дамуымен сипатталады. Атап айтқанда, тығыз матрицасы бар uhpfc зерттеулері оның төмен өткізгіштігін және күрделі жұмыс жағдайында, соның ішінде ылғал мен жарықтардың әсерінен жоғары төзімділігін растайды. Мұндай композиттерді қолдану гидротехникалық элементтерді қорғаудың жаңа деңгейін ұсынады [5].



3 сурет -Ультра берік бетон құрылымының көп масштабты моделі (UHPRC)

Макро, микро және нано деңгейлердегі компоненттердің өзара әрекеттесуін, соның ішінде болат талшықтарының таралуын, ультра ұсақ бөлшектерді және ылғалдандыру өнімдерін түсіндіреді.

Жапондық бетон қоғамы шеңберінде жүргізілген зерттеулер мұздату - еріту циклдарының әсерінен бетон құрылымдарының мінез-құлқына бағытталған. Атап айтқанда, модельдеу «мұзды күшейту» әсерлерін ескереді-бұл кезде кеуектердегі мұздатылған су статикалық және шаршау жүктемелері кезінде құрылымның беріктігі мен

қаттылығын қысқаша арттыра алады. Бұл деректер суық гидродинамикалық жағдайда бетон құрылымдарының беріктігін түсіну үшін пайдалы [6].

Жапондық зерттеулер көрсеткендей, кішірейтетін қоспалар бетонның аязға төзімділігіне теріс әсер етуі мүмкін. Оларды пайдалану толық ылғалдандыру процесіне кедергі келтіруі және кеуек жүйесіндегі ауаның таралуын нашарлатуы мүмкін. Бұл кеуектің өрескел құрылымына және мұздатылған кезде ең кішкентай жарықтарға сезімталдықтың жоғарылауына әкеледі. Осылайша, қоспаларды таңдау олардың шөгу процестеріне ғана емес, сонымен қатар F / T циклдерінің беріктігіне әсерін ескере отырып бақылануы керек [7].

Кесте 1 - Әртүрлі елдердегі бетонның аязға төзімділігін арттыру технологияларын салыстырмалы талдау

Мемлекет	Негізгі технологиялар мен тәсілдер	Бетонның сипаттамаларына әсері	Қолдану ерекшеліктері
Канада	<ul style="list-style-type: none"> - Ағаш қышқылының шайырларына негізделген ауа тартатын қоспалар, ауаны бақылау (ASTM C457). - Интегралды кристалды гидроокшаулағыш (Хурех, Kryton). - Мембраналық және бүріккіш жабындар, түйіршікті оқшаулағыш қабаттар. - Поззолан қоспалары мен кристалды Гидроизоляцияны біріктіру. 	<ul style="list-style-type: none"> - W-ны W8-ден W16-ға дейін арттыру. - Аязға төзімділікті F300-ден F600-ге дейін арттыру. - Хлоридтердің енуінің 50-70 % төмендеуі (RCPT). 	<ul style="list-style-type: none"> - Жиі F / T циклдары бар солтүстік аймақтарда кеңінен қолданылады. - Жөндеуге қолжетімділігі шектеулі объектілерде қолданылады. - Ылғал мен тұздардан кешенді қорғауға баса назар аудару.
Япония	<ul style="list-style-type: none"> - Uhpfc қолдану (ультра берік талшықты бетон). - Бетонның F/T мінез-құлқын көп масштабты модельдеу («ice-strengthening»). - Шөгу және аязға төзімділік бойынша қоспаларды кешенді бағалау. 	<ul style="list-style-type: none"> - Суды сіңірудің айтарлықтай төмендеуі. - Жарықтардың пайда болуын азайту. - Айнымалы температурада беріктікті арттыру. 	<ul style="list-style-type: none"> - Беріктіктің құннан басымдығы. - Аса жауапты гидротехникалық құрылыстар үшін пайдаланылады. - Ғылыми негізделген қоспаларды таңдауға баса назар аудару.

Материалдар мен әдістер

Зерттеу үшін портландцемент негізіндегі тұтқыр Сем I 42,5 Н (ГОСТ 31108) көмегімен гидротехникалық бетон үлгілері жасалды. Жергілікті жылу электр станциясынан алынған күл (ФА) цементті ішінара ауыстыру ретінде қолданылды. Күлдің мөлшері цемент массасының 20 % құрады. Құрылымды өзгерту және жарыққа төзімділікті арттыру үшін композицияға полипропилен талшықтары енгізілді (0,9 кг/м³).

Толтырғыштар: ГОСТ 8736 және ГОСТ 8267 талаптарына сәйкес келетін 2,2 ірі модулі бар кварц құмы және 5-20 мм фракциясының қиыршық тастары. Су-цемент қатынасы (В/С) 0,42-ге тең деп қабылданды.



4 сурет - Үлгілерді дайындау процесі

Үлгілердің үш сериясы дайындалды:

- Негізгі бетон (НБ) - минералды және талшықты қоспаларсыз бақылау құрамы;
- Күлмен бетон (КБ) - цементті күлмен алмастырудың 20 % - ы;
- Күл-таспа және талшықты бетон (КЖТБ) - 20 % күл-таспа + 0,9 кг/м³ фибра.

Сынақтар қалыпты жағдайда 28 күндік қатаюдан кейін 100×100×100 мм текшелерде жүргізілді ($t = 20 \pm 2$ °С, RH = 95 %).

Суды сіңіруді анықтау МЕМСТ 12730.3-2020 сәйкес жүргізілді. Үлгілер тұрақты массаға дейін сумен қаныққан (5 - сурет), содан кейін (105 ± 5) °С температурада кептірілген.



5 сурет - Үлгілерді қанықтыру процесі

Суды сіңіру формула бойынша анықталды:

$$WW = \frac{m_n - m_c}{m_c} \cdot 100 \%,$$

мұндағы m_n - қаныққан үлгінің массасы, г; m_c - құрғақ үлгінің массасы, г.

Капиллярлық суды сіңіруді бағалау үшін үлгілер тұрақты массаға дейін кептіріліп, ішінара 5 мм тереңдікке батырылды. 24 сағат ішінде 30 минут, 1 сағат, 3 сағат, 6 сағат және 24 сағаттан кейін массаның өсуі тіркелді. алынған мәліметтер негізінде капиллярлық суды сіңіру қисықтары салынды.

Нәтижелер және талқылау

ГОСТ 12730.3-2020 бойынша жалпы суды сіңіру анықтамасы минералды және талшықты қоспаларды енгізу бетонның гидрофизикалық қасиеттеріне айтарлықтай әсер ететіндігін көрсетті (сурет).

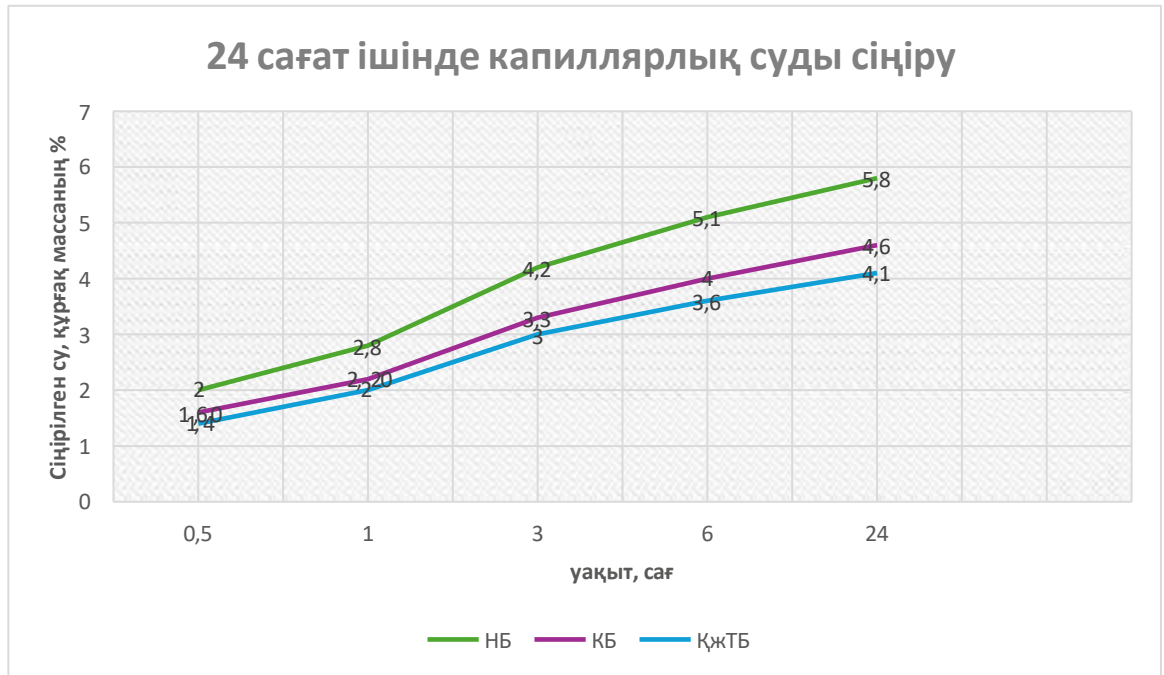
Негізгі құрамда (ВВ) суды сіңіру 6,2 % құрады, бұл арнайы модификаторлары жоқ ауыр бетондарға тән мәндерге сәйкес келеді. Цементтің 20 % - зол күлмен алмастыру (ВЗ) бұл көрсеткішті 5,3 % - ға дейін төмендетуге мүмкіндік берді, яғни бақылау құрамымен салыстырғанда шамамен 15 % - ға. Бұл күлдің позолан белсенділігімен түсіндіріледі, соның арқасында цемент тасының құрылымын тығыздайтын және ашық кеуектілікті төмендететін кальций гидросиликаттарының қосымша мөлшері пайда болады.

Суды сіңірудің ең төменгі мәні аралас қоспалары бар бетонға (ВZF) бекітілген: тек 4,9 %, бұл бақылау үлгісінен 21 % төмен. Төмендеу Қос әсерге байланысты: күлді кетіру арқылы құрылымды тығыздау және полипропилен талшықтары арқылы микрокректердің дамуын блоктау. Соңғысы жарыққа төзімділікті арттырып қана қоймайды, сонымен қатар капиллярлық каналдардың пайда болуына жол бермейді, бұл суға төзімділікке оң әсер етеді.

Осылайша, күлді талшықтармен бірге пайдалану гидротехникалық бетондардың беріктігін арттырудың тиімді бағыты болып табылады. Суды сіңірудің төмендеуі олардың су өткізбейтіндігінің жоғарылауымен тікелей байланысты және жанама түрде теріс температурада фазалық ауысуларға ұшырайтын кеуектердегі бос ылғал мөлшерін азайту арқылы аязға төзімділіктің жоғарылауын көрсетеді.



6 сурет - ГОСТ 12730.3-2020 бойынша әр үлгінің жалпы суды сіңіру қасиеттері



7 сурет - 24 сағат ішінде капиллярлық суды сіңіру

Нәтижелерді талдау көрсеткендей, күлді шығару цемент тасының құрылымын тығыздау және макропоралардың санын азайту арқылы судың жалпы сіңуін ~ 15 % төмендетеді. Полипропилен талшығымен қосымша күшейту одан әрі төмендеуге қол жеткізді (4,9 % дейін), бұл микрокректер мен капиллярлық өткізгіштіктің дамуына кедергі келтіретін «микроарма» әсерімен байланысты.

Капиллярлық суды сіңіру нәтижелері бойынша модификацияланған қосылыстардағы ылғал жинау жылдамдығы бақылаудан әлдеқайда төмен екендігі анықталды. Ең үлкен әсерге күл мен талшықты бірге енгізу арқылы қол жеткізіледі: 24 сағат капиллярлық сорғыдан кейін сіңірілген судың массасы тек 4,1 % құрады, бұл бақылау бетонынан 29 % төмен.

Осылайша, қоспалардың ұсынылған комбинациясы тығызырақ микроқұрылымды қамтамасыз етеді және гидротехникалық бетондардың су өткізбейтін және ықтимал аязға төзімділігін арттыруға көмектеседі.

Қорытынды

Отандық және шетелдік зерттеулерге жүргізілген шолу гидротехникалық бетондардың су өткізбейтіндігі мен аязға төзімділігін арттыруға цемент тасының микроқұрылымын өзгертетін позолан сипатындағы минералды қоспаларды қолдану арқылы, сондай-ақ жарықтардың дамуына жол бермейтін талшықты арматура арқылы қол жеткізуге болатындығын көрсетті. Ең тиімді бағыт-ашық кеуектілікті азайтуға, құрылымның тығыздығын арттыруға және капиллярлық өткізгіштікті төмендетуге мүмкіндік беретін әртүрлі әдістерді кешенді қолдану.

Өздерінің эксперименттік зерттеулері басқа авторлардың нәтижелерін растады. Күлді шығару (цементті алмастырудың 20 %) судың сіңуін ~ 15 % төмендетуге ықпал ететіні анықталды, ал полипропилен талшығын қосымша енгізу (0,9 кг/м³) бетонның гидрофизикалық қасиеттерін одан әрі жақсартуды қамтамасыз етеді. Капиллярлық сорбцияға сәйкес, аралас қосылыстар судың қанығу жылдамдығының едәуір төмендеуімен және ылғалдың төменгі деңгейімен сипатталады, бұл тығыз және суға төзімді құрылымның қалыптасуын көрсетеді.

Осылайша, алынған нәтижелер гидротехникалық бетондар өндірісінде күл мен полипропилен талшықтарын пайдаланудың жоғары перспективасын растайды. Бұл

қоспалар су өткізбейтіндігін жақсарту және мұздату мен ерітудің бірнеше циклына ұшыраған кезде бұзылу қаупін азайту арқылы олардың беріктігін едәуір арттыруға мүмкіндік береді.

Жүргізілген зерттеулердің практикалық маңыздылығы мынада: күл мен полипропилен талшықтарын пайдалану гидротехникалық қондырғылардың беріктігін арттырып қана қоймай, сонымен қатар цементті өнеркәсіптік қалдықтармен ішінара ауыстыру арқылы бетонның құнын төмендетеді. Бұл тәсіл құрылыс саласының тұрақтылығы мен тұрақты дамуына қойылатын заманауи талаптарға жауап береді.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1. Thomas, M., Fournier, B., Folliard, K. «Field and Laboratory Investigations of High-Volume Fly Ash Concrete for Highway and Hydraulic Structures», Canadian Journal of Civil Engineering, 2008. - **журнал**
2. Hooton, R.D. et al., «Performance of air-entrained concretes in Canadian freeze-thaw environments», ACI Materials Journal, 2015. - **журнал (на англ)**
3. Pour-Ghaz, M., Isgor, O.B., «Evaluation of crystalline waterproofing admixtures in concrete structures», Cement and Concrete Composites, 2014. - **журнал (на англ)**
4. Ballivy, G., «Thermal insulation of hydraulic concrete dams: Modelling and field application», Canadian Journal of Civil Engineering, 1995. - **журнал (на англ)**
5. Japan Concrete Institute. Ultra High Performance Fiber Reinforced Cementitious Composites (UHPFRC) - Properties and Applications. Journal of Advanced Concrete Technology, Vol. 4, No. 1. Доступно по ссылке: https://www.jstage.jst.go.jp/browse/jact/4/1/_contents/-char/en - **электронный ресурс (на англ)**
6. Japan Society of Civil Engineers. Ice-strengthening effect on fatigue performance of concrete under freeze-thaw cycles. Concrete Committee Newsletter, No. 63. Доступно по ссылке: https://www.jsce.or.jp/committee/concrete/e/newsletter/newsletter63/Newsletter63_files/5.html - **электронный ресурс (на англ)**
7. Japanese Society of Cement. Effect of shrinkage-reducing admixtures on frost resistance and pore structure of concrete. Cement Science and Concrete Technology, Vol. 63, No. 1. Доступно по ссылке: https://www.jstage.jst.go.jp/browse/cement/63/1/_contents/-char/en - **электронный ресурс (на англ)**
8. Li V.C. Engineered Cementitious Composites (ECC): Bendable Concrete for Structural Applications // Journal of Materials in Civil Engineering. - 2003. - Vol. 15(3). - P. 211-218. - **журнал (на англ)**
9. Kazem Shaker M.A., Mostafa M. Influence of Silica Fume and Fly Ash on Durability of Hydraulic Concrete // Construction and Building Materials. - 2020. - №254. - P. 119-129. - **журнал (на англ)**
10. Thomas M., Hooton R. Durability of Concrete Containing High-Volume Fly Ash under Freezing and Thawing Conditions // Cement and Concrete Research. - 2015. - №67. - P. 14-23. - **журнал (на англ)**
11. Yahia A., Tanimura M. Durability Performance of Fiber-Reinforced Hydraulic Structures in Cold Regions // Journal of Advanced Concrete Technology. - 2019. - Vol. 17. - P. 210-225. - **журнал (на англ)**
12. Хусаинов К.Т., Омаров А.С., Исаков Т.У. Прочностные характеристики гидротехнических бетонов с пуццолановыми добавками // Вестник КазННТУ. – 2021. – №3. - С. 45-52. - **книга**
13. Аманов Ж.К., Садыков Е.Б. Повышение морозостойкости бетона для северных регионов Казахстана // Наука и техника в дорожной отрасли. - 2022. - №4. - С. 23–30. - **книга**
14. Neville A. Properties of Concrete. - 5th ed. - London: Pearson, 2011. - 864 p. - **книга (на англ)**

15. Mindess S., Young J., Darwin D. Concrete. - 2nd ed. - Upper Saddle River: Prentice Hall, 2017. – 642 p. **книга (на англ)**

16. Li V.C. Engineered Cementitious Composites (ECC): Bendable Concrete for Structural Applications // Journal of Materials in Civil Engineering. - 2003. - Vol. 15(3). - P. 211-218. - **журнал (на англ)**

17. Xurpex Chemical Corporation. Crystalline Waterproofing Technology for Hydraulic Structures. - Vancouver, 2021. - 56 p. - **электронный ресурс (на англ)**

18. ACI Committee 201. Guide to Durable Concrete (ACI 201.2R–21). - American Concrete Institute, 2021. - 98 p. - **книга (на англ)**

19. Mehta P.K., Monteiro P.J.M. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. - 4th ed. - McGraw-Hill Education, 2014. - 666 p. **книга (на англ)**

20. Basheer P.A.M., Basheer L., Long A.E. Durability and Performance of Concrete in Harsh Environments // Construction and Building Materials. - 2001. - №15(6–7). - P. 347-357. - **журнал (на англ)**

Авторлар туралы мәліметтер (үш тілде):

Ануарбеков Мұрабек Жасуланұлы - магистрант, «Өнеркәсіптік және азаматтық құрылыс технологиясы» кафедрасы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті КЕАҚ, Астана қ., Қазақстан, mega.armor1@gmail.com

Ануарбеков Мурабек Жасуланович - магистрант кафедрасы «Технология промышленного и гражданского строительства», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилёва, г. Астана, Казахстан, mega.armor1@gmail.com

Anuarbekov Murabek Zhasulanovich - Master's student at the Department of Industrial and Civil Construction Technology, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, mega.armor1@gmail.com

Кадырханова Данагүл Нұрланқызы - докторант, «Өнеркәсіптік және азаматтық құрылыс технологиясы» кафедрасы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті КЕАҚ, Астана қ., Қазақстан, dana.kad98@gmail.com

Кадырханова Данагуль Нурлановна - докторант кафедрасы «Технология промышленного и гражданского строительства», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилёва, г. Астана, Казахстан, dana.kad98@gmail.com

Kadyrkhanova Danagul Nurlanovna - Doctoral student at the Department of Industrial and Civil Construction Technology, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, dana.kad98@gmail.com

Утебаев Алибек Ақылбекұлы - магистрант, «Өнеркәсіптік және азаматтық құрылыс технологиясы» кафедрасы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті КЕАҚ, Астана қ., Қазақстан, alionepower02@gmail.com

Утебаев Алибек Ақылбекович - магистрант кафедрасы «Технология промышленного и гражданского строительства» Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилёва, г. Астана, Казахстан, alionepower02@gmail.com

Utebayev Alibek Akylbekovich - Master's student at the Department of Industrial and Civil Construction Technology, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, alionepower02@gmail.com

Авторлардың үлесі:

М.Ж.Ануарбеков – тұжырымдама, әдістемелік қолдау, ресурстар, нәтижелерді интерпретациялауға қатысу.




Д.Н.Кадырханова – негізгі тұжырымдама, әдістемелік тәсіл, деректерді жинау, сынақтар, модельдеу, толық талдау, визуализация, интерпретация, мәтінді дайындау, негізгі редакциялау.

А.А. Утебаев – деректерді жинауға көмек, сынақтар мен бастапқы талдауға қатысу, мәтінге ескертулер, жұмыстың жеке кезеңдеріне техникалық қолдау.

Мүдделер қақтығысы: Авторлар мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

Жасанды интеллектті (AI) пайдалану: Авторлар осы жұмысты дайындау кезінде жасанды интеллект қолданған жоқ.

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТИ И МОРОЗОСТОЙКОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ БЕТОНОВ

ORCID: 0009-0000-2626-888X  **Ануарбеков М.Ж.¹,**
ORCID: 0000-0002-1396-1973  **Қадырханова Д.Н.^{1*},**
ORCID: 0009-0001-6334-9731  **Утебаев А.А.¹**

¹ кафедра «Технология промышленного и гражданского строительства», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилёва, Астана, Казахстан
*Корреспондент: dana.kad98@gmail.com

Аннотация. Данная статья посвящена исследованию современных способов повышения водонепроницаемости и морозостойкости гидротехнических бетонов. Цель исследования – определить эффективность уплотнения микроструктуры бетона и повышения его долговременной прочности за счет применения минеральных пуццолановых добавок и дисперсного армирования волокнами. В работе проанализирован международный опыт, включая технологии Канады, Японии и Китая, а также рассмотрена возможность их адаптации к условиям Казахстана.




В качестве методологии использованы три бетонные смеси, изготовленные на основе цемента Sem I 42,5 Н; их общая и капиллярная водопоглощаемость исследованы в соответствии со стандартами ГОСТ. В качестве минеральной добавки применялось 20 % золы-уноса, а для повышения трещиностойкости - 0,9 кг/м³ полипропиленового волокна.

Полученные результаты показали, что введение золы снижает водопоглощение примерно на 15 %, а совместное использование золы и волокон уменьшает этот показатель до 21 %. Капиллярное водопоглощение также снизилось на 29 %. Эти данные подтверждают высокую эффективность добавок в повышении водостойкости и морозостойкости бетона.

Практическая значимость исследования заключается в повышении долговечности и надежности гидротехнических сооружений, а также в снижении стоимости материала за счет частичной замены цемента промышленными отходами.

Ключевые слова: гидротехнический бетон, водонепроницаемость, морозостойкость, зола-унос, полипропиленовое волокно, капиллярное водопоглощение, пуццолановые добавки.

METHODS FOR ENHANCING THE WATERPROOFING AND FROST RESISTANCE OF HYDRAULIC CONCRETE

ORCID: 0009-0000-2626-888X  **M.Zh. Anuarbekov**¹,
ORCID: 0000-0002-1396-1973  **D.N. Kadyrkhanova**^{1*},
ORCID: 0009-0001-6334-9731  **A.A. Utebayev**¹

¹ Department of Industrial and Civil Construction Technology, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

*Corresponding author: dana.kad98@gmail.com

Abstract. This article examines modern approaches to improving the waterproofing and frost resistance of hydraulic concrete. The aim of the study is to determine the effectiveness of densifying the microstructure of concrete and increasing its long-term durability through the use of mineral pozzolanic additives and fiber reinforcement. The research analyzes international practices, including technologies used in Canada, Japan, and China, and considers the potential for their adaptation to conditions in Kazakhstan.

The methodology involved preparing three concrete mixtures based on Cem I 42.5 N cement. Their total and capillary water absorption properties were investigated in accordance with GOST standards. As a mineral additive, 20 % fly ash was used, and 0.9 kg/m³ of polypropylene fiber was added to improve crack resistance.

The findings showed that the addition of fly ash reduced water absorption by approximately 15 %, while the combined use of fly ash and fibers decreased the indicator by up to 21 %. Capillary water absorption was also reduced by 29 %. These results confirm the high effectiveness of the additives in improving the water resistance and frost durability of concrete.

The practical significance of the study lies in enhancing the longevity and reliability of hydraulic structures, as well as reducing material costs through the partial replacement of cement with industrial by-products.

Keywords: hydraulic concrete, waterproofing, frost resistance, fly ash, polypropylene fiber, capillary water absorption, pozzolanic additives.



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/>).



<https://doi.org/10.71031/qhsi.2025.v1.i4.004>

КОМБИНИРОВАННАЯ АСФАЛЬТОБЕТОННАЯ СМЕСЬ SMA-МА ДЛЯ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

Ширяев Н.И.^{1*}

¹кандидат технических наук, технический менеджер по развитию бизнеса Отдела
«Дорожное строительство», Ltd J. Rettenmaier & Sons

* Корреспондент автор: nikita.shiryaev@rus-jrs.ru

Аннотация. В статье рассматривается инновационная комбинированная асфальтобетонная смесь SMA-МА, предназначенная для применения на мостовых сооружениях. Актуальность исследования связана с необходимостью повышения долговечности дорожных покрытий, устойчивости к пластическим деформациям, водонасыщению и усталостному трещинообразованию. Цель работы — изучить эффективность применения SMA-МА в сравнении с традиционными литыми, плотными и щебеночно-мастичными асфальтобетонами. Представлены методики лабораторных испытаний, включая определение содержания воздушных пустот, устойчивости к стеканию, глубины колеи и усталостных характеристик. Исследованы составы SMA-МА 11 с применением модифицирующих и стабилизирующих добавок Viator 66 и Viator Plus FER. Результаты показывают, что смесь SMA-МА с многофункциональной добавкой демонстрирует улучшенные показатели устойчивости к колееобразованию (до 12 %) и усталостному разрушению (до 15 %) по сравнению с традиционными составами. Практическая значимость заключается в возможности использования SMA-МА в покрытиях мостов для повышения срока службы конструкций и снижения эксплуатационных затрат.

Ключевые слова: щебеночно-мастичный асфальтобетон, SMA-МА, мостовые сооружения, асфальтобетон, Viator, Viator plus FER, деформации, трещиностойкость, колееобразование.

Введение

Слой покрытия дорожной одежды на искусственных сооружениях существенно влияет на долговечность конструкции моста. Правильно спроектированная дорожная одежда должна обеспечивать транспортно-эксплуатационные характеристики автомобильной дороги, такие как:

- равномерное распределения нагрузки на мосту;
- сопротивление воздействию динамических транспортных нагрузок;
- обеспечение межслойного сцепление;
- обеспечение устойчивости к низкотемпературному растрескиванию и усталостным трещинам;
- обладать высокой устойчивостью к пластическим деформациям.

Анализ зарубежного и отечественного опыта применения слоев покрытия из асфальтобетонов позволяет сделать вывод, что одной из основных причин преждевременных разрушений, является низкое межслойное сцепление между бетонной плитой и покрытием, вызванное низким качеством гидроизоляционного слоя.

Повреждения поверхности покрытия могут быть вызваны возникающими деформациями и недостаточной устойчивостью к трещинообразованию. Эти деформации особенно заметны на ортотропных мостовых конструкциях.

В качестве традиционных материалов применяемых при устройстве слоев покрытий являются литые асфальтобетонные смеси, щебеночные мелкозернистые плотные асфальтобетонные смеси типа Б и щебеночно-мастичные асфальтобетонные смеси.

Применения наиболее плотных асфальтобетонных смесей позволяет повысить гидроизоляционные свойства покрытия, но при этом снижает устойчивость к пластическим деформациям.

Таким образом, литой асфальтобетон обладающие низким процентом водонасыщения не способен обеспечить соответствующую устойчивость к колеобразованию. Также, к негативному фактору относится высокая температура производства и применения литых асфальтобетонных смесей.

При применении плотных асфальтобетонов и щебеночно-мастичных существует риск высокое содержание воздушных пустот, что существенно снижает водостойкость и трещиностойкость покрытия.

Технологическим решением данной задачи может быть применения инновационных материалов. С этой целью в Германии с 2011 г. в качестве верхнего слоя покрытия или слоя износа применяют комбинированный асфальтобетон SMA-MA. Высокое содержание щебня и мастичного вяжущего представляет собой творческой сочетание технологии щебеночно-мастичного асфальтобетона и литого. Высокое содержание щебня устраняет недостатки литого асфальтобетона, а высокое содержание мастичного вяжущего обеспечивает гидроизоляцию. Содержания воздушных в данном материале варьируется от 0,5-2 %. Данное условие достигается при содержании вяжущего от 7,5-9,5 %.

Также, как и в традиционный щебеночно-мастичный асфальтобетон, данный материал обладает высоким содержанием органического вяжущего, для обеспечения устойчивости к расслаиванию, необходимо применять стабилизирующие добавки типа Viator. Для предотвращения расслаивания применяют стабилизирующие добавки Viator 66.

С целью повышения устойчивости к пластическим деформациями увеличению долговечности покрытия, рекомендуется применение модифицирующих добавок. В данной работе применялась комплексная добавка обладающей модифицирующим и стабилизирующим эффектом Viator plus FER. Данная добавка состоит на 20 % из целлюлозная волокна и на 80 % из полимерной функциональной добавки. Концентрация добавки для традиционного щебеночно-мастичного асфальтобетона составляет 0,9 %, когда для асфальтобетона SMA-MA 0,11 %.

Таблица 1- Рекомендуемые требования к составу асфальтобетонной смеси SMA-MA 11:

Наименование материала	Содержание (мас. %)
Щебень фр 4-11мм	60-70
Песок дроблёный	15-20
Минеральный порошок	8-12
Модифицированный битум	7,5-9,0
Стабилизирующие добавки	0,3-0,5

Фактический состав смеси SMA-MA11:

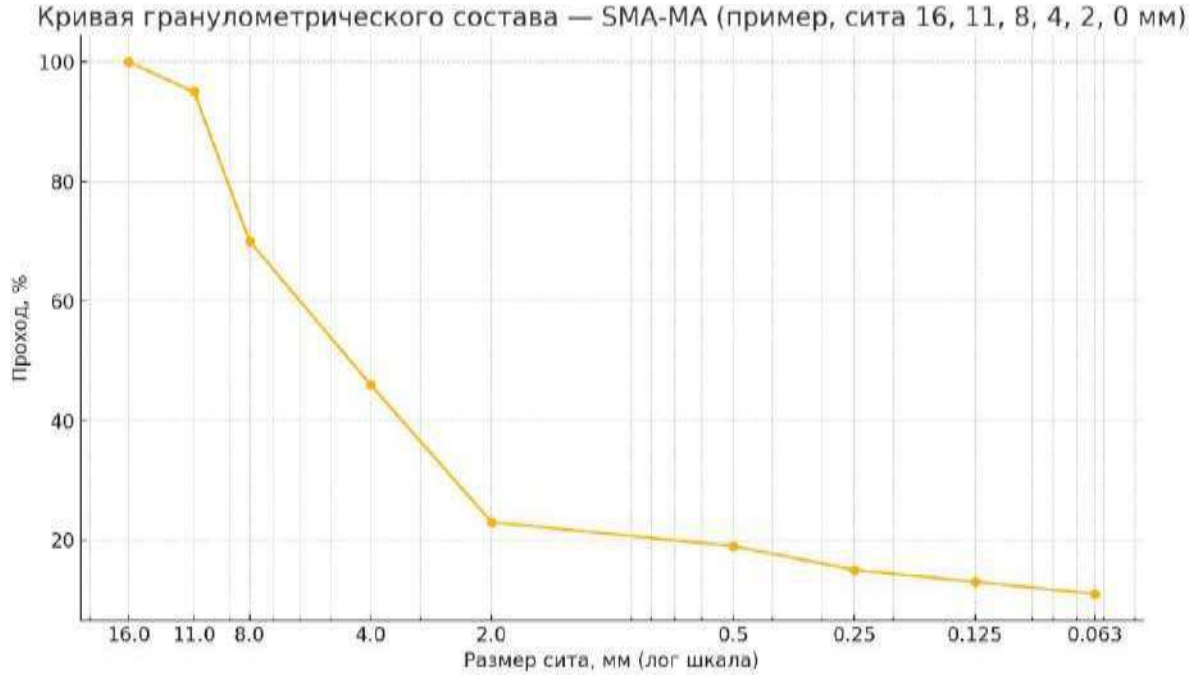
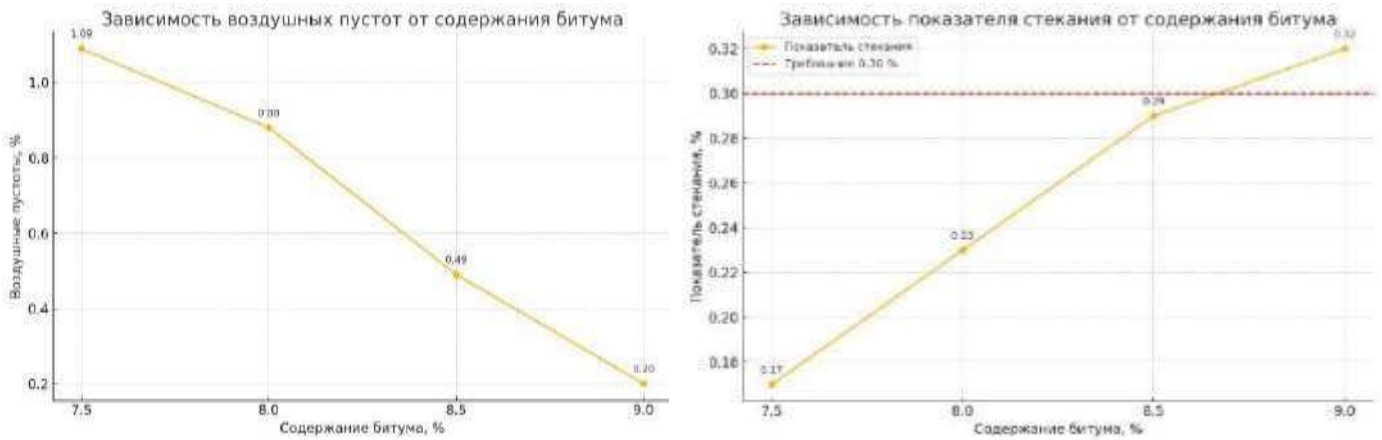


Рисунок 1 - Кривая гранулометрического состава

На начальном этапе были проведены испытания по определению содержания воздушных пустот и стекания.



SMA-MA 11 на ПБВ 50/70 + Viator 66

SMA-MA 11 на БНД 60/90 + Viator plus FEP

Рисунок 2 - Результаты испытания SMA-MA 11 по показателям содержания воздушных пустот и стекания

По результатам испытания можно сделать вывод, что оптимальным содержанием вяжущего является 8,0 %, так как результаты испытания соответствует предъявляемым требованиям.

Результаты и Обсуждение

Для определения эффективности применения полимерного SMA-MA 11 асфальтобетона были проведены испытания по показателям «глубина колеи» и усталостные свойства».

Результаты испытания представлены ниже:

Таблица 2 - Изменение глубины колеи при приложении нагрузки

Количество проходов	SMA-MA 11 на ПБВ 50/70 + Viator 66		SMA-MA 11 на битуме БНД 60/90 + Viator plus FEP	
	Образец №1	Образец №2	Образец №1	Образец №2
100	0,91	0,92	0,76	0,83
500	0,98	1,03	0,94	0,99
1000	1,12	1,22	1,06	1,14
5000	1,54	1,68	1,28	1,37
10000	1,91	2,03	1,45	1,61
15000	2,09	2,18	1,86	1,93
20000	2,20	2,27	2,08	2,19
25000	2,45	2,64	2,29	2,34
30000	2,67	2,82	2,43	2,52
Средняя глубина колеи	2,75		2,48	

Образец	Глубина колеи	Среднее значение	диапазон
	[mm]		
Лево	2,67	2,75	0,15
Право	2,82		

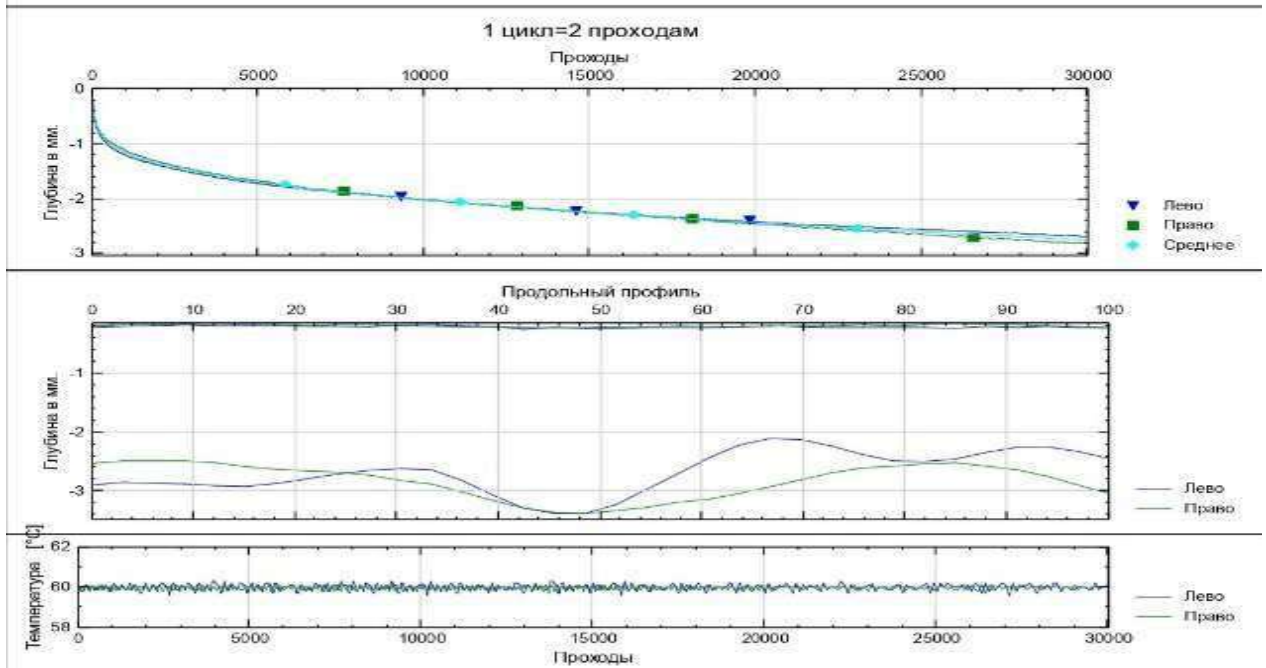


Рисунок 3 - Глубина колеи асфальтобетона SMA-MA 16 со стабилизирующей добавкой «Viator 66»

Образец	Глубина колеи	Среднее значение	диапазон
	[mm]		
Лево	2,43	2,48	0,09
Право	2,52		

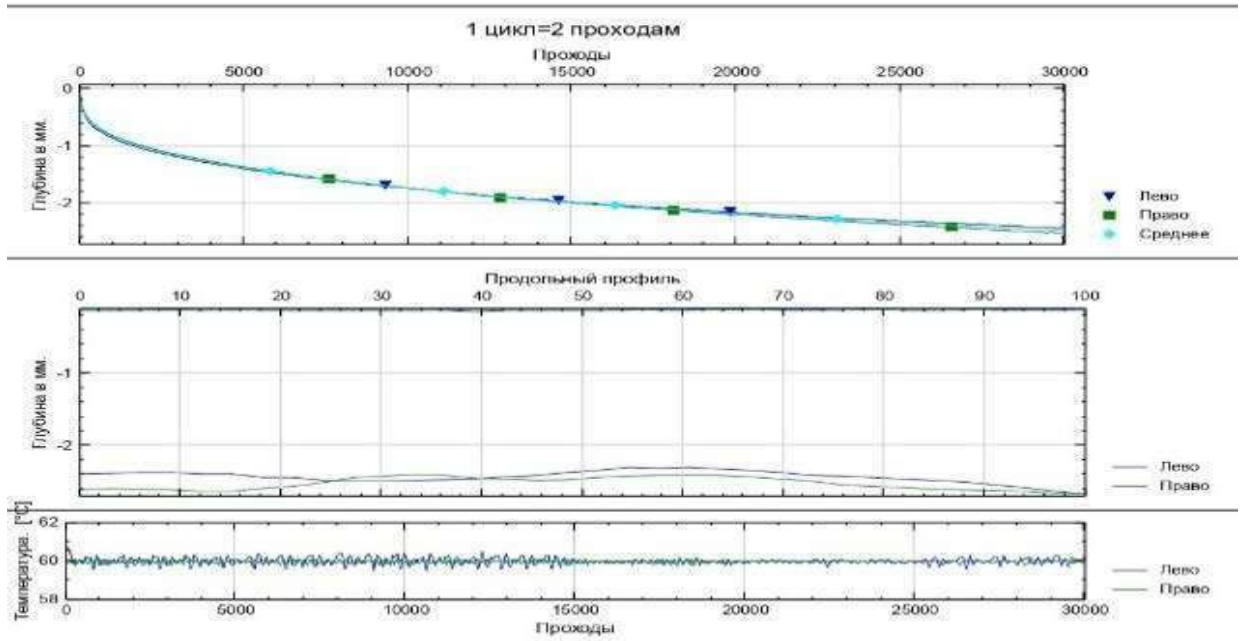
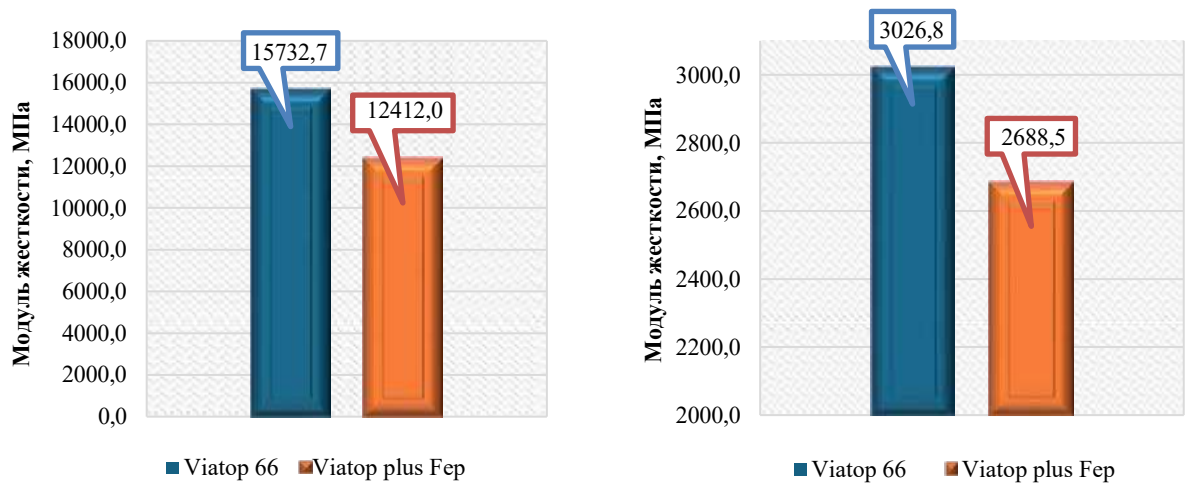


Рисунок 4 - Глубина колеи асфальтобетона SMA-MA 11 со стабилизирующей добавкой «Viatop Plus FER»

По результатам испытания можно сделать вывод о том, что асфальтобетон SMA-MA с многофункциональной добавкой «Viatop Plus FER» на 12 % более устойчив к возникновению пластических деформаций, чем асфальтобетон на полимернобитумном вяжущем РМВ 25/55.

Результаты испытания образцов-балочек из асфальтобетона ЩМА-16 с многофункциональной добавкой «Viatop Plus FER» и стабилизирующей добавкой «Viatop 66», по определению усталостного трещинообразования при температуре 20⁰С и 0⁰С представлены на рисунках ниже:

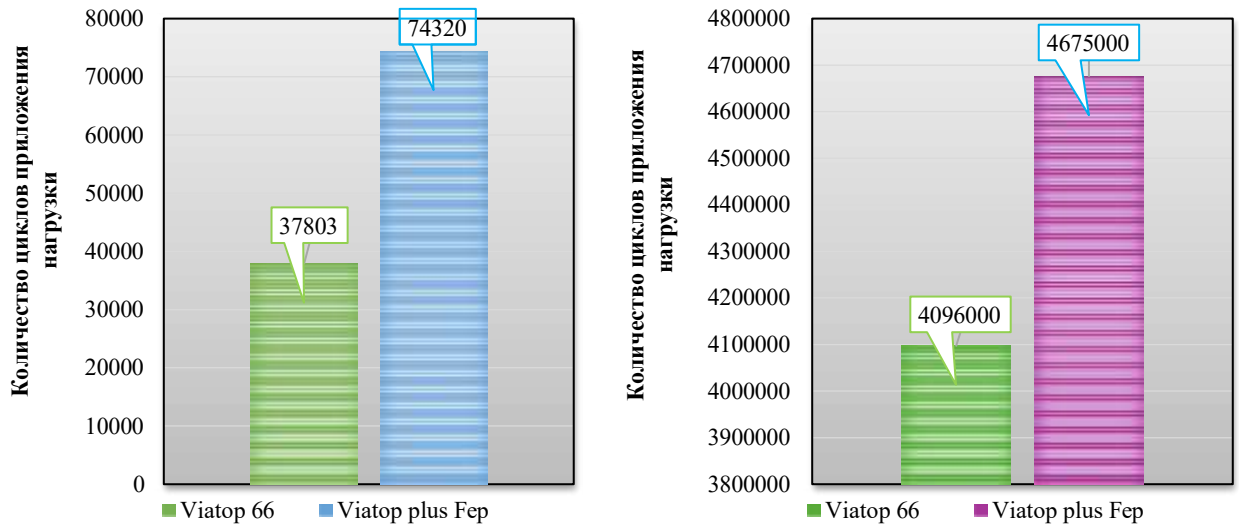


Модуль жесткости образцов асфальтобетона SMA-MA 11 при температуре 20⁰С

Модуль жесткости образцов асфальтобетона SMA-MA 11 при температуре 0⁰С

температуре 0⁰С

Рисунок 5 - Модуль жесткости образцов асфальтобетона SMA-MA 11 при температуре 0⁰С и 20⁰С



Усталостное трещинообразование образцов асфальтобетона SMA-MA 11 при температуре 0⁰С

Усталостное трещинообразование образцов асфальтобетона SMA-MA 11 при температуре 20⁰С

Рисунок 6 - Усталостное трещинообразование образцов асфальтобетона SMA-MA 11 при температуре 0⁰С и 20⁰С

Полученные результаты испытаний на усталостное трещинообразование позволяют сделать вывод о положительном влиянии многофункциональной добавки «Viatop Plus FEP» в составе асфальтобетона SMA-MA. Таким образом, устойчивость к усталостному трещинообразованию у образцов-балочек, сформированных из асфальтобетона SMA-MA 11 применением модификатора на 15 % лучше по сравнению с традиционной смесью.

На мостах укладка SMA-MA выполняется с учётом особенностей конструкции и ограничений по нагрузке на плиту. Температура смеси при выгрузке в бункер асфальтоукладчика должна составлять 180-185 °С. Основание должно быть сухим и чистым, на него перед укладкой наносят тонкий равномерный слой битумной эмульсии или праймера для обеспечения надёжного сцепления с гидроизоляцией.

Асфальтоукладчик должен работать с постоянной подачей смеси, без остановок, чтобы не образовывались холодные швы. Толщина укладываемого слоя на мосту обычно составляет 25 - 40 мм, чаще около 30 мм. Смесь распределяется равномерно по всей ширине проезжей части, продольные стыки уплотняются «горячим по горячему» либо обрабатываются мастикой.

Уплотнение начинают сразу после распределения смеси, пока температура не опустилась ниже 175-180 °С. Первым проходит гладковальцовый каток статического или лёгкого вибрационного действия для предварительного формирования структуры слоя. Затем выполняют 4-6 проходов пневмоколёсным катком с давлением в шинах 0,6-0,8 МПа, который обеспечивает плотное «закрытие» структуры и равномерное распределение мастики по пустотам. Заканчивают уплотнение одним-двумя проходами гладковальцового катка без вибрации для выравнивания поверхности. Работы завершают, когда температура смеси достигает 110-120 °С, не допуская её переохладения, так как это приводит к потере пластичности и ухудшению сцепления внутри слоя.

Заключение

Использование комбинированного асфальтобетона SMA-MA на мостах является эффективным технологическим решением, объединяющим преимущества щебёночно-мастичного и литого асфальтобетона. Высокое содержание щебня обеспечивает устойчивость к пластическим деформациям, а мастичное вяжущее — низкую водопроницаемость и высокую гидроизоляцию. Оптимальное содержание вяжущего составляет около 8,0 %, при котором достигаются нормативные показатели по содержанию воздушных пустот и стеканию.

Применение модифицирующих добавок улучшает стабильность смеси, повышает её устойчивость к колееобразованию (на 10 % по сравнению с SMA-MA на ПБВ 50/70 + Viatop 66) и увеличивает сопротивляемость усталостному трещинообразованию (на 15 %). SMA-MA показывает хорошие эксплуатационные характеристики при правильной технологии укладки: температура смеси 180-185 °С, слой 25-40 мм, немедленное уплотнение гладковальцовыми и пневмоколёсными катками, завершение уплотнения при температуре не ниже 110 °С.

Список литературы

1. EN 13108-5:2016. Bituminous mixtures - Material specifications - Part 5: Stone Mastic Asphalt (SMA). Brussels: European Committee for Standardization, 2016. 38 p. - **нормативный документ / стандарт**
2. ZTV Asphalt-StB 07/13. Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Straßenbau. Köln: FGSV Verlag, 2013. 112 S. - **технические условия / стандарт**
3. FGSV. Richtlinien für das Decken auf Brücken (RDO-B). Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, 2012. 89 S. - **нормативно-техническое руководство**
4. Пащенко В. А., Смирнов В. Н. Асфальтобетоны для мостовых сооружений. — М.: Транспорт, 2012. - 256 с. - **книга**
5. Сидоренко Б. И., Евтушенко А. И. Дорожные асфальтобетонные смеси: состав, свойства, технология. - М.: Инфра-Инженерия, 2019. - 304 с. - **книга**
6. Раевский В. В., Колесников А. С. Модифицированные битумы и асфальтобетоны. — М.: Ассоциация «РОСДОРНИИ», 2017. - 214 с. - **книга**
7. Scholz T., Wellner F. Bridge deck surfacing using SMA-MA: performance and technology experience in Germany // Proceedings of the European Asphalt Symposium. - Berlin, 2018. - P. 45–53. - **доклад**
8. JRS Rettenmaier. Viatop® Technical Data Sheets. - Rosenberg: J. Rettenmaier & Söhne GmbH + Co KG, 2020. - 20 p. - **корпоративный технический документ**
9. Жигунов А. В., Горячев А. В. Влияние стабилизирующих добавок на свойства ЩМА // Дорожная техника и технологии. - 2020. - № 4. - С. 18–24. - **книга**

Сведения об авторах:

Ширяев Никита Игоревич - кандидат технических наук, технический менеджер по развитию бизнеса Отдела «Дорожное строительство», Ltd J. Rettenmaier & Sons

Ширяев Никита Игоревич - техника ғылымдарының кандидаты, «Жол құрылысы» бөлімінің бизнес дамуы бойынша техникалық менеджері, Ltd J. Rettenmaier & Sons

Shiryaev Nikita Igorevich - PhD in Engineering, Technical Business Development Manager, Road Construction Department, Ltd J. Rettenmaier & Sons

Вклад авторов:

Ширяев Н.И. - выполнение экспериментальных исследований, разработка состава комбинированной асфальтобетонной смеси SMA-MA, анализ результативности

модифицирующих и стабилизирующих добавок Viator 66 и Viator Plus FER, обработка лабораторных данных по колееобразованию, усталостным характеристикам и содержанию воздушных пустот, подготовка графических материалов, формирование выводов и практических рекомендаций, а также полное научное и техническое сопровождение исследования.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

КӨПР ҚҰРЫЛЫСТАРЫ ҮШІН КОМБИНАЦИЯЛАНҒАН SMA-МА АСФАЛЬТБЕТОН ҚОСПАСЫ

Н.И. Ширяев^{1*}

¹Техника ғылымдарының кандидаты, «Жол құрылысы» бөлімінің бизнес дамуы бойынша техникалық менеджері, Ltd J. Rettenmaier & Sons

*Корреспондент автор: nikita.shiryayev@rus-jrs.ru

Аннотация. Мақалада көпір құрылыстарында қолдануға арналған инновациялық құрама асфальтобетон қоспасы - SMA-МА қарастырылады. Зерттеудің өзектілігі жол жабындарының беріктігін, пластикалық деформацияларға, суға қанығуға және шаршау жарықтарының пайда болуына төзімділігін арттыру қажеттілігімен байланысты. Жұмыстың мақсаты - SMA-МА қоспасының тиімділігін дәстүрлі құймалы, тығыз және киыршықтасты-мастикалық асфальтобетондармен салыстыра отырып зерттеу. Зерттеу барысында зертханалық сынақ әдістері ұсынылған, оның ішінде ауа қуыстылығының мөлшерін анықтау, ағуға төзімділік, колея тереңдігі және шаршау сипаттамалары. Viator 66 және Viator Plus FER модификациялаушы және тұрақтандырушы қоспалары қолданылған SMA-МА 11 құрамдары зерттелді. Нәтижелер көрсеткендей, көпфункционалы қоспасы бар SMA-МА қоспасы колеяға төзімділік бойынша (12 %-ға дейін) және шаршаудан бұзылуға төзімділік бойынша (15 %-ға дейін) дәстүрлі қоспалармен салыстырғанда жақсартылған көрсеткіштерге ие. Практикалық маңыздылығы - SMA-МА қоспасын көпірлердің жабындарында қолдана отырып, конструкциялардың қызмет мерзімін ұлғайтуға және пайдалану шығындарын азайтуға мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: щебенді-мастикалық асфальтобетон, SMA-МА, көпір құрылыстары, асфальтобетон, Viator, Viator plus FER, деформациялар, жарыққа төзімділік, ойықтану (колееобразование).

COMBINED ASPHALT CONCRETE MIXTURE SMA-MA FOR BRIDGE STRUCTURES

N.I. Shiryayev^{1*}

¹PhD in Engineering, Technical Business Development Manager, Road Construction Department, Ltd J. Rettenmaier & Sons

*Corresponding author: nikita.shiryayev@rus-jrs.ru

Abstract. The article examines an innovative combined asphalt mixture SMA-MA designed for use on bridge structures. The relevance of the study is associated with the need to increase the durability of pavement structures, as well as resistance to plastic deformation, water saturation,

and fatigue cracking. The aim of the work is to evaluate the effectiveness of SMA-MA compared to traditional mastic, dense, and stone mastic asphalt mixtures. Laboratory testing methods are presented, including the determination of air void content, resistance to binder drainage, rut depth, and fatigue characteristics. SMA-MA 11 mixtures modified with Viatop 66 and Viatop Plus FEP additives were investigated. The results show that the SMA-MA mixture with multifunctional additives demonstrates improved rutting resistance (up to 12 %) and fatigue performance (up to 15 %) compared to traditional mixtures. The practical significance lies in the potential use of SMA-MA in bridge pavements to increase the service life of structures and reduce maintenance costs.

Keywords: stone mastic asphalt, SMA-MA, bridge structures, asphalt concrete, Viatop, Viatop plus FEP, deformations, crack resistance, rutting.



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/>).



<https://doi.org/10.71031/qhsi.2025.v1.i4.005>

ТӨМЕН МАРКАЛЫ МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН БИТУМНЫҢ ТЕМПЕРАТУРАЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРІН ЖОҒАРЫ МАРКАЛЫ БИТУМДАРМЕН САЛЫСТЫРА ОТЫРЫП БАҒАЛАУ

С.Ж. Ашимова², Р.Е. Лукпанов³, С.Т. Бегалиева², Ә.Б. Ниғметова^{1*},
Т.С. Женисов¹

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

²«Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты» АҚ филиалы, Алматы, Қазақстан

³Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті КЕАҚ, Астана, Қазақстан

*Корреспондент автор: a.nigmatova@qazjolgzi.kz

Аңдатпа. Климаттық аймаққа байланысты асфальтобетон жабындарының беріктігін қамтамасыз ету үшін битумның әртүрлі маркалары қолданылады: ыстық оңтүстік аймақтар үшін 70/100 және одан төмен маркалы битумдар, ал суық солтүстік үшін 100/130 маркалы битумдар қолданылады. Алайда, битум температура мен Күн радиациясының әсерінен қартаюға ұшырайды, бұл оның икемділігін, адгезиясын және деформацияға төзімділігін төмендетеді. Зерттеудің мақсаты модификациялаушы қоспаның төмен маркалы битум қасиеттеріне әсерін талдау және алынған нәтижелерді жоғары маркалы битум сипаттамаларымен салыстыру болып табылады. Сынақтар әртүрлі өндірушілердің М 50/70 және М 70/100 маркалы битум үлгілерінде жүргізілді. RTFOT камерасында битум үлгілерінің жедел қартаюы, табиғи қартаю жағдайларын имитациялай отырып жүргізілді. Осылайша, модификатордың төмен маркалы битумының құрамына енуі оның температуралық көрсеткіштерінің нашарлауына теріс әсер етпейді, сонымен қатар, нақты жағдайларда жоғары маркалы битумға қарағанда жоғары нәтиже көрсетеді.

Түйінді сөздер: битум, битумды жұмсарту температурасы, икемділік, битум жарқылының температурасы, сынғыштық, RTFOT сынағы.

Кіріспе

Қазақстанның климаты асфальтобетон жолдардың жай-күйіне айтарлықтай әсер ететін қатал жағдайлармен ерекшеленеді [1]. Ел температураның күрт өзгеруіне, соның ішінде маусымдық мұздату мен ерітуге, жаздың жоғары температурасына, сондай-ақ айтарлықтай жел мен шөгінді жүктемелерге тап болып отыр. Бұл факторлар жол төсемдерінің бұзылу процестерін жеделдетеді, жарықтардың, шұңқырлардың пайда болуына, сондай-ақ жол қозғалысының жайлылығы мен қауіпсіздігін төмендететін ойықтардың пайда болуына ықпал етеді [2].

Асфальтобетон жабындары жаздың жоғары температурасында да, қыстың қатты аязында да өнімділік сипаттамаларын сақтай отырып, қарқынды температураның өзгеруіне төтеп беруі керек [3]. Бұл проблема, әсіресе Қазақстанның солтүстік өңірлерінде өзекті, онда төмен температура мен ұзаққа созылатын аяз жол бетінде жарықтардың пайда болу

қаупін арттырады, бұл тозуды тездетеді және жабынның қызмет ету мерзімін қысқартады [4]. Сонымен қатар, жазда температура 50°C-қа жетуі мүмкін елдің оңтүстік аймақтарында жол төсемі айтарлықтай қызады, бұл битумның жұмсаруына және асфальттың деформациясына әкелуі мүмкін. Осылайша, жол жамылғысының беріктігін қамтамасыз ету үшін аймақтың климаттық жағдайына байланысты битумның әртүрлі маркаларын қолдану қажет: мысалы, 70/100 маркасы оңтүстік аймақтарға, ал 100/130 маркасы солтүстік аймақтарға қолданылады, бұл жолдардың қызмет ету мерзімін ұзартуға көмектеседі [5].

Битумды тұтқыр зат асфальтобетон жабындарының сапасы мен беріктігі үшін маңызды рөл атқарады, бірақ оның физика-механикалық қасиеттері температура жүктемелерінің, ультракүлгін сәулеленудің және механикалық әсерлердің ықпалымен айтарлықтай өзгерістерге ұшырайды [6]. Автомобиль жолдарын пайдалану кезінде туындайтын негізгі мәселелердің бірі-битумның қартаюуы, ол уақыт өте келе оның серпімділігін, адгезиялық қасиеттерін және деформацияға төзімділігін нашарлатады, бұл жабынның беріктігіне теріс әсер етеді [7].

Осыған байланысты соңғы жылдары зерттеушілер мен жол материалдарын өндірушілердің назары битумның қасиеттерін жақсартуға және оның қартаюуға төзімділігін арттыруға қабілеттілігін өзгертетін қоспаларды әзірлеуге және қолдануға бағытталған [8]. Модификаторлардың битумға әсерін бағалау үшін жұмсарту температурасын, динамикалық тұтқырлықты, жарқыл температурасын және сынғыштықты анықтау сияқты әртүрлі сынақ әдістері қолданылады [9].

Бұл зерттеудің мақсаты модификациялаушы қоспаның төмен маркалы битумның қасиеттеріне әсерін талдау және алынған нәтижелерді жоғары маркалы битумның сипаттамаларымен салыстыру болып табылады [10]. Мақсатқа жету үшін келесі міндеттер қойылды:

1. Табиғи қартаю жағдайларын имитациялай отырып, RTFOT камерасында битум үлгілерінің жедел қартаюын жүргізу.

2. Модификатор қосу арқылы қартаюға дейінгі және кейінгі жұмсарту температурасының, динамикалық тұтқырлықтың, жарқыл температурасының және битумның сынғыштығының өзгеруін бағалау.

3. Модификацияланған және модификацияланбаған битумның сынау нәтижелерін салыстыру.

4. Битумның қартаюға төзімділігін арттыруда қоспаның тиімділігін анықтау.

5. Жол құрылысында битум материалдарының беріктігін арттыру үшін өзгертетін қоспалардың қолданылуы туралы қорытынды жасау.

Әдістеме

Модификацияланған битумның құрамын таңдау бойынша зерттеулер келесі тәртіпте жүргізілді:

1. 50/70 маркалы битумның физика-механикалық қасиеттерін зерттеу.
2. 70/100 маркалы битумның физика-механикалық қасиеттерін зерттеу.
3. Модификацияланған қоспаның оңтайлы құрамын анықтау.

Сынақтар әртүрлі өндірушілердің М 50/70 және М 70/100 маркалы битум үлгілерінде жүргізілді. Зерттеудің мақсаты М 50/70 маркалы битумды М 70/100 маркалы битум көрсеткіштеріне ұқсас сипаттамаларға қол жеткізу үшін модификациялау болғандықтан, барлық талдаулар М 50/70 және М 70/100 маркалы битумдардың қасиеттерін модификацияға дейін де, кейін де салыстыру арқылы жүргізілді. 1-кестеде салыстырылатын үлгілердің түрлері және олардың өндірушілері туралы мәліметтер келтірілген. Өндірушілер туралы ақпараттың құпиялылығын сақтау мақсатында олардың атаулары шартты түрде әріптермен белгіленді. Битумның әрбір түрі үшін әрбір көрсеткіш бойынша кемінде бес өлшем орындалды, бұл ықтимал статистикалық ауытқуларды ескере отырып, нәтижелердің салыстырмалы дәлдігін қамтамасыз етеді.

Кесте 1 – Битум тұтқыр үлгілерінің салыстырылатын түрлері

Үлгі түрі	Битумның маркасы	Өндіруші
1 нұсқа	БНД 50/70	«А» ЖШС
2 нұсқа	БНД 70/100	«А» ЖШС
3 нұсқа	БНД 70/100	«В» ЖШС
4 нұсқа	БНД 70/100	«С» ЖШС
5 нұсқа	БНД 70/100	«D» ЖШС
6 нұсқа	БНД 70/100	«Е» ЖШС
7 нұсқа	БНД 70/100	«F» ЖШС
8 нұсқа	БНД 70/100	«G» ЖШС
9 нұсқа	Модифицирленген БНД 50/70	«А» ЖШС

Жұмсарту нүктесін анықтауға арналған сынақтар ҚР СТ 1227-2003 сәйкес «сақина және шар» стандартты әдісі бойынша орындалды. Сынақтың мақсаты стандартты өлшемдегі сақинадағы битум жұмсартатын және болат шардың әсерінен $25,0 \pm 0,4$ мм қашықтықта өтетін температураны анықтау болды. Битумның әр түрі үшін статистикалық маңызды нәтижелер алу үшін кемінде бес өлшеу жүргізілді. Рұқсат етілген қателік шектері келесідей белгіленеді: жұмсарту температурасы 80°C дейін болғанда рұқсат етілген ауытқу 2°C құрайды; 80°C - 4°C жоғары.

Динамикалық тұтқырлықты анықтау ҚР СТ 1211-2003 сәйкес стандартты әдіспен орындалды. Сынақтың мақсаты - ығысу жылдамдығының ығысу кернеуіне тәуелділігін анықтау. Өлшеу вакуумдық капиллярлары бар вискозиметрде 60°C температурада жүргізіліп, битумның вакуум астындағы капиллярлар арқылы өту уақыты белгіленді. Битумның әрбір түрі үшін нәтижелерді статистикалық өңдеу үшін кемінде бес өлшем орындалды. Мәндер арасындағы рұқсат етілген алшақтық 10% - дан аспайды.

Жарқылдың температурасын анықтау ҚР СТ 1804-2008 бойынша стандартты әдіспен жүргізілді. Сынақтың мақсаты атмосфералық қысым кезінде ауа ортасындағы битум буларының ең төменгі тұтану температурасын анықтау болды. Битумның әрбір түрі үшін нәтижелерді статистикалық бағалау үшін кемінде бес өлшем орындалды, рұқсат етілген ауытқуы 17°C аспайды.

Фраас бойынша сынғыштық температурасы ҚР СТ 229-2003 стандарты бойынша айқындалған. Бұл көрсеткіш төмен температурада битумның сынғыштығын сипаттайды. Сынақтың мақсаты - жүктеме кезінде битум пленкасының тұтастығы бұзылатын температураны анықтау. Битумның әрбір түрі үшін 6°C -тан аспайтын мәндер арасындағы рұқсат етілген ауытқу кезінде статистикалық сенімді нәтижелер алу үшін кемінде бес өлшем орындалды.

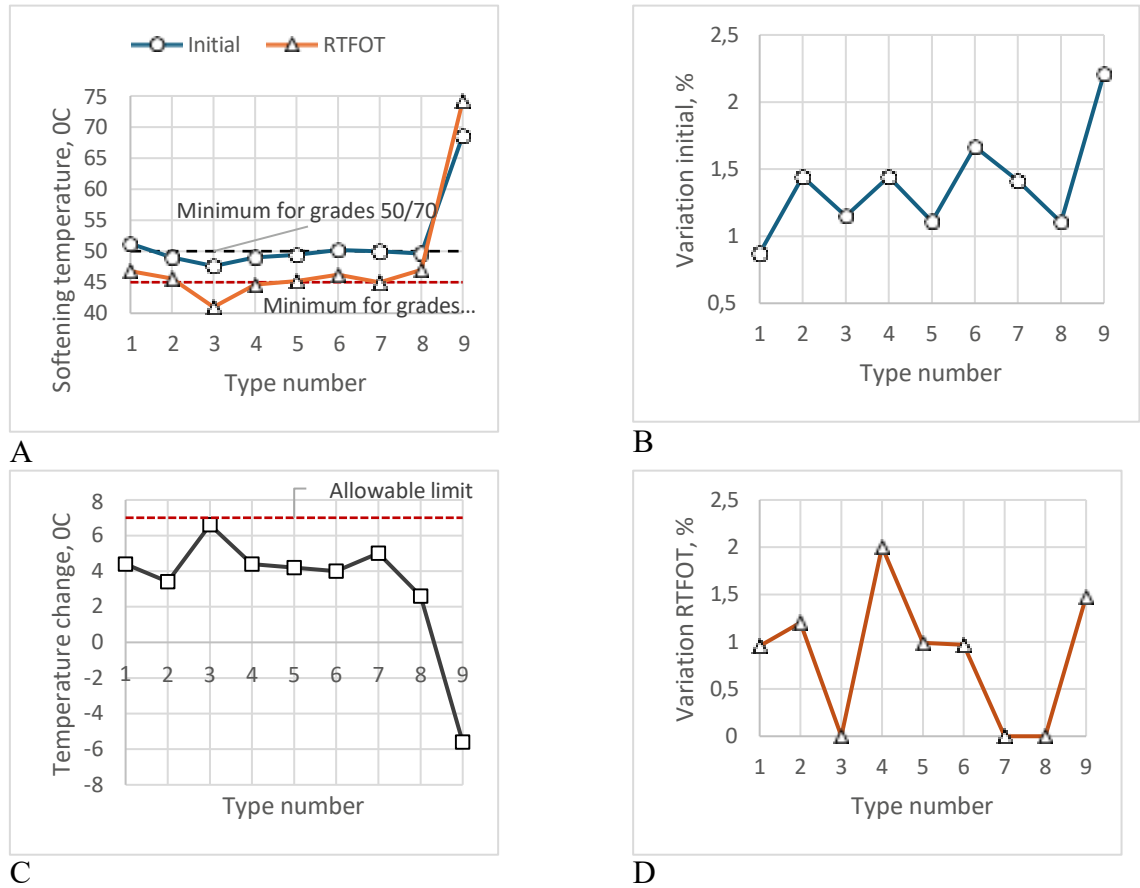
Битумның физика-механикалық қасиеттеріндегі өзгерістерді бағалау үшін қайталама сынақтар СТ РК 1224-2023 стандарттық әдістемесіне сәйкес RTFOT камерасында қартаюдан кейін жүргізілді. Битумның қартаю процесінде камерада $163 \pm 1^{\circ}\text{C}$ температурада 75 ± 1 минут бойы айналмалы колбада, ауа ағындарымен қыздыру арқылы оның пленкасының тұрақты жаңаруы жасалады.

Нәтижелер және талқылау

1. Жұмсарту температурасын анықтау

1- суретте зерттелетін үлгі түрлерінің жұмсарту температурасының орташа мәндері көрсетілген. 1А - суреттің диаграмма қисықтары жұмсартудың бастапқы температурасын және RTFOT үлгілері қартайғаннан кейін қалдық температураны көрсетеді. 1А - суреттің тікелей диаграммалары 50/70 және 70/100 маркалы битумдарды жұмсарту температураларының шекті рұқсат етілген көрсеткіштерін көрсетеді. 1В суретте үлгілер қартайғаннан кейін жұмсарту температурасының өзгеруі көрсетілген. 1С және 1D суретте әр типтегі 5 үлгінің қартаюына дейін және одан кейінгі жұмсарту температурасының жеке

мәндерінің вариация коэффициенттері көрсетілген. Визуализация үшін қартаюға дейінгі және кейінгі үлгілер шартты түрде data points байланысын немесе үлгісін білдірмейтін, бірақ нәтижелердің белгілі бір сынақ сериясына жататынын анықтайтын сызықтармен біріктірілген.



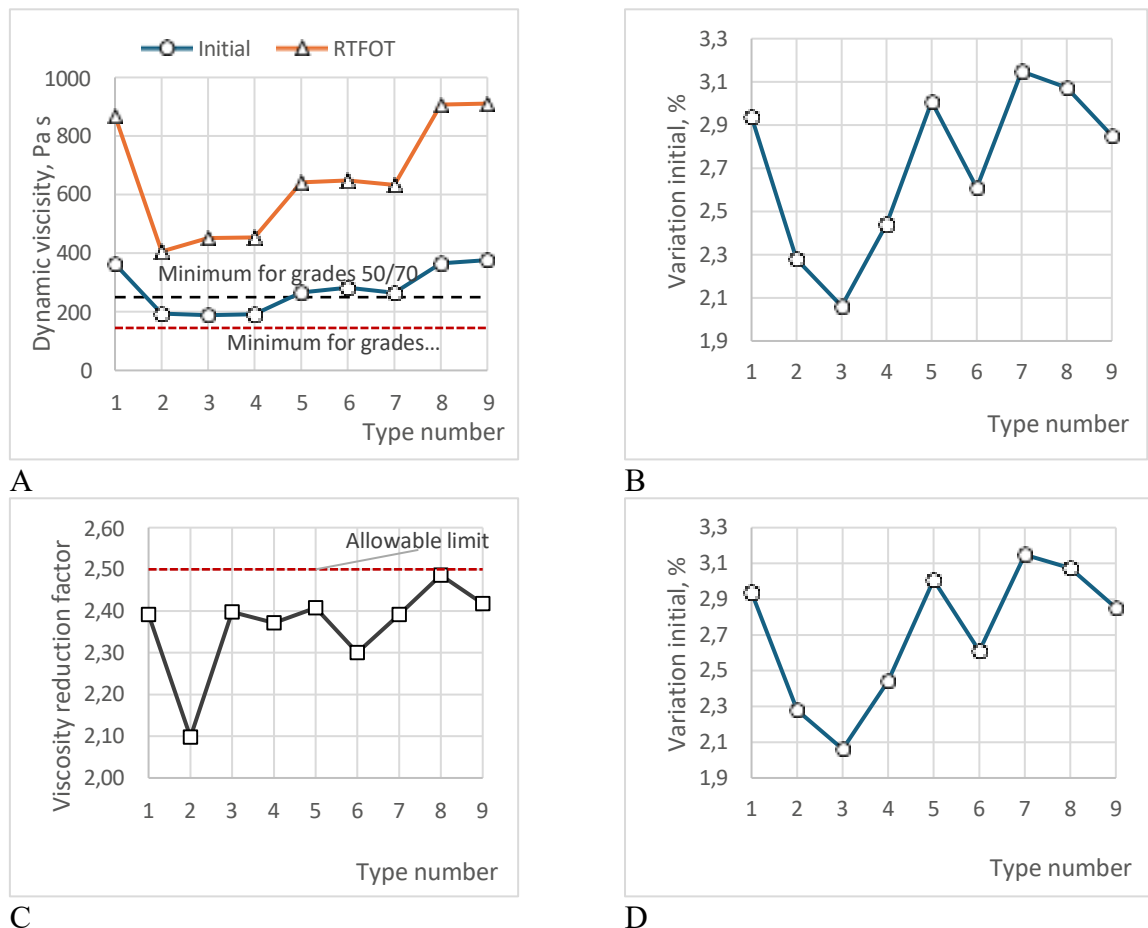
Сурет 1 - Жұмсарту температурасын өлшеу нәтижелері

Алынған нәтижелерге сәйкес, төмен маркалы битумдар үшін жұмсартудың бастапқы температурасы орта есеппен 51.2 °C құрайды, бұл 50/70 маркаларына қойылатын талаптарға сәйкес келеді – 50 °C-тан төмен емес. Жоғары маркалы битумдарды жұмсарту температурасының орташа бастапқы мәндері 47.6-дан 50.2 °C-қа дейін өзгереді, бұл сонымен қатар 70/100 маркаларына қойылатын талаптарға сәйкес келеді – 45 °C-тан төмен емес. Жұмсарту температурасының максималды мәні 6 және 7 типті үлгілерде анықталды, сәйкесінше 50.0 және 50.2 °C құрайды. 2, 4, 5 және 8 типті үлгілердегі орташа мәндер сәйкесінше 49.0, 49.0, 49.4, 49.6 °C құрайды. Ең төменгі мәндер 3 типті үлгілерді көрсетті – 47.6 °C. Модификацияланған битум үлгілері жұмсарту температурасының жоғары мәндерін көрсетті, олар 68 - ден 71 °C - қа дейін, ал орташа мәні 68.6 °C. Температураның жоғарылауы, ең алдымен, битумға үлкен қаттылық беретін модификатор құрамында полимерлердің болуына байланысты. Төмен маркалы битум қартайғаннан кейін жұмсарту температурасының төмендеуі орташа есеппен 8.6 % құрады, абсолютті мәндерде 46.8 °C. Жоғары маркалы битумдардың максималды төмендеуі 3 және 7 типті үлгілерде анықталды, сәйкесінше 13.9 % (41.0 °C) және 10.0 % (45.0 °C) құрайды. Орташа көрсеткіштер 4, 5 және 6 типті үлгілерде байқалды, тиісінше 9.0 % (44.6 °C), 8.5 % (45.2 °C) және 8.0 % (46.2 °C) құрады. 2 және 8 типті үлгілердегі ең төменгі көрсеткіштер сәйкесінше 6.9 % (45.6 °C) және 5.2 % (43.6 °C) құрады. Модификацияланған битум үлгілері қартаюдан кейін жұмсарту температурасының өзгеруінің кері үлгісін көрсетті. Жұмсарту температурасының көрсеткіштері 74.2 °C - қа дейін өсті (73-тен 76 °C - қа дейін), бұл, ең алдымен, битумның булануы нәтижесінде оның полимерге қатысты көлемдік үлесі төмендейді, сондықтан

битум қатайды. Осылайша, төмен битум маркаларының үлгілері қартайғаннан кейін температураның өзгеру нәтижелері орта есеппен 4.4 %, ал модификациядан кейін - 5.6 болды. Жоғары маркалы температураның өзгеруі 2.6-дан 6.6 % - ға дейін өзгереді. Жұмсарту температураларының өзгеруінің барлық көрсеткіштері 50/70 және 70/100 маркаларының шекті рұқсат етілген мәндерінен аспайды - 7 °C жоғары емес (Әдістер бөлімін қараңыз).

2. Динамикалық тұтқырлықты анықтау

2 - суретте үлгілердің зерттелетін түрлерінің динамикалық тұтқырлығының (тұтқырлығының) орташа мәндері көрсетілген. 2А-суреттің диаграмма қисықтары тұтқырлықтың бастапқы мәндерін және олардың қартаюынан кейінгі қалдық мәндерін көрсетеді. 2А - суреттің тікелей диаграммалары 50/70 және 70/100 маркалы битумдардың тұтқырлығының шекті рұқсат етілген көрсеткіштерін көрсетеді. 2В-суретте динамикалық тұтқырлықтың өсу коэффициенті көрсетілген, ол қартайғаннан кейін 60⁰C динамикалық тұтқырлық көрсеткішінің 60⁰C бастапқы динамикалық тұтқырлық көрсеткішіне қатынасы ретінде анықталған. 2С және 2D суретте әр типтегі 5 үлгінің қартаюына дейінгі және кейінгі тұтқырлықтың жеке мәндерінің вариация коэффициенттері көрсетілген.



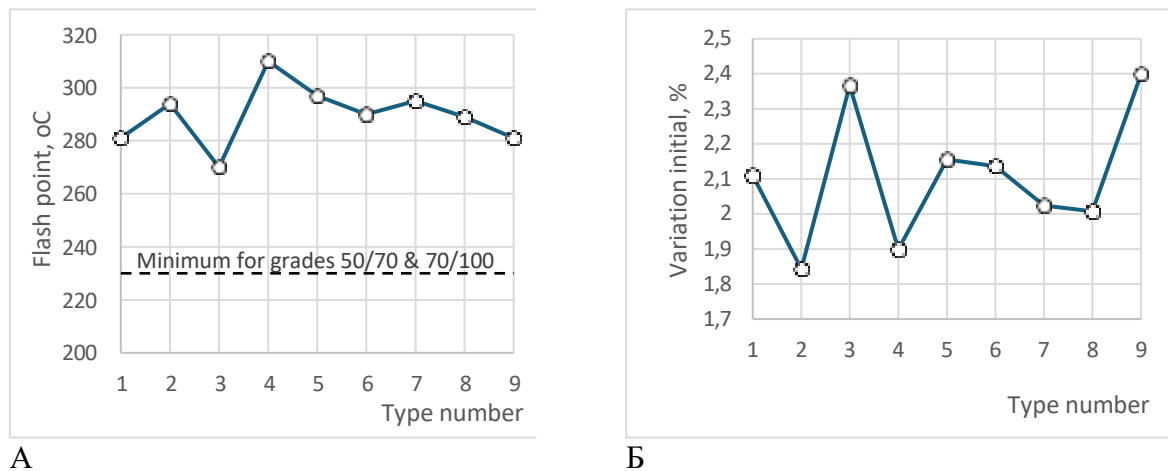
Сурет 2 - Динамикалық тұтқырлықты өлшеу нәтижелері

Алынған нәтижелерге сәйкес, төмен маркалы битумдар үшін бастапқы динамикалық тұтқырлық орташа есеппен 363.7 Па·с құрайды, бұл 50/70 маркаларына қойылатын талаптарға сәйкес келеді – 250 Па·с төмен емес. Жоғары маркалы битумдардың тұтқырлығының орташа бастапқы мәндері 188.6-дан 365.0 Па·с-қа дейін өзгереді, бұл сонымен қатар 70/100 маркаларына қойылатын талаптарға сәйкес келеді. Битумның жоғары тұтқырлығын сипаттайтын динамикалық тұтқырлықтың максималды мәндері 8 типті үлгілерде анықталған, 365.0 Па·с. 5, 6 және 7 типті үлгілердегі тұтқырлықтың орташа мәндері 266.5, 282.0 және 264 құрайды. Сәйкесінше 7 Па·с. Ең төменгі мәндер 2, 3 және 4

типті үлгілерде анықталған, сәйкесінше 193.4, 188.6 және 191.3.6 Па·с құрайды. Модификацияланған битум үлгілері тұтқырлықтың табиғи өсуін көрсетті (модификацияланбаған битумға қатысты 50/70), сол себепті қоспаның құрамында полимерлердің болуы орташа есеппен 376.6 Па·с (359-дан 386 Па·с-қа дейін), вариация коэффициенті 2.9 % болды. Төмен маркалы битумның қартаюынан кейін тұтқырлықтың жоғарылауы орта есеппен 139 % құрады, бұл абсолютті шамаларда 869.5 Па·с. Жоғары маркалы битумдардың тұтқырлығының максималды жоғарылауы 8 типті үлгілерде анықталды, абсолютті шамаларда 907.1 Па·с, ал бастапқы шамаларға қатысты 148 %. Орташа көрсеткіштер 5, 6 және 7 типті үлгілерде байқалды, сәйкесінше 641.7 Па·с (140 %), 648.7 Па·с (130 %) және 633.2 Па·с (139 %) болды. 2, 3 және 4 типті үлгілердегі төмен көрсеткіштер сәйкесінше 405.9 Па·с (109 %), 452.1 Па·с (139 %) және 453.5 Па·с (137 %) болды. Қартаюдан кейінгі Модификацияланған битум үлгілері тұтқырлықтың өзгеруінің ұқсас динамикасын көрсетті, бұл 50/70 және 70/100 битум маркалары сияқты, орташа тұтқырлық 910.8 Па·с (854-тен 948 Па·с-қа дейін) болды. Динамикалық тұтқырлықтың өсу коэффициенттерінің барлық көрсеткіштері 50/70 және 70/100 маркаларының шекті рұқсат етілген мәнінен аспайды-2.5-тен аспайды. Соңғысы алынған нәтижелердің қолайлылығы, олардың нормаларға сәйкестігі, демек, кейінгі талдауға жарамдылығы туралы айтады. Бастапқы тұтқырлықтың жеке мәндерінің барлық вариация коэффициенттері 3.1% - дан аспайды, ал қартаюдан кейін 3.9 % - дан аспайды. Деректердің салыстырмалы түрде төмен таралуы өлшеу нәтижелерінің салыстырмалы түрде жоғары конвергенциясы мен статистикалық дәлдігін көрсетеді. Жеке мәндер арасындағы айырмашылық 10% - дан аспайды, бұл стандарт талаптарына сәйкес келеді (Әдістер бөлімін қараңыз).

Жарқыл температурасын анықтау

3-суретте үлгілердің тұтану температурасын өлшеу нәтижелері көрсетілген. 3А-суретте битумның әр түрінің 5 үлгісінің орташа көрсеткіштері, ал 3Б-суретте оларға сәйкес вариация коэффициенттері көрсетілген. Сынақтар тек үлгілердің қартаюынсыз бастапқы көрсеткіштерді бағалау үшін жүргізілді. Бұл көрсеткіш асфальтобетонның пайдалану жарамдылығын бағалау үшін маңызды емес, жолдарды ұзақ мерзімді пайдалану кезінде үлкен маңызға ие емес.



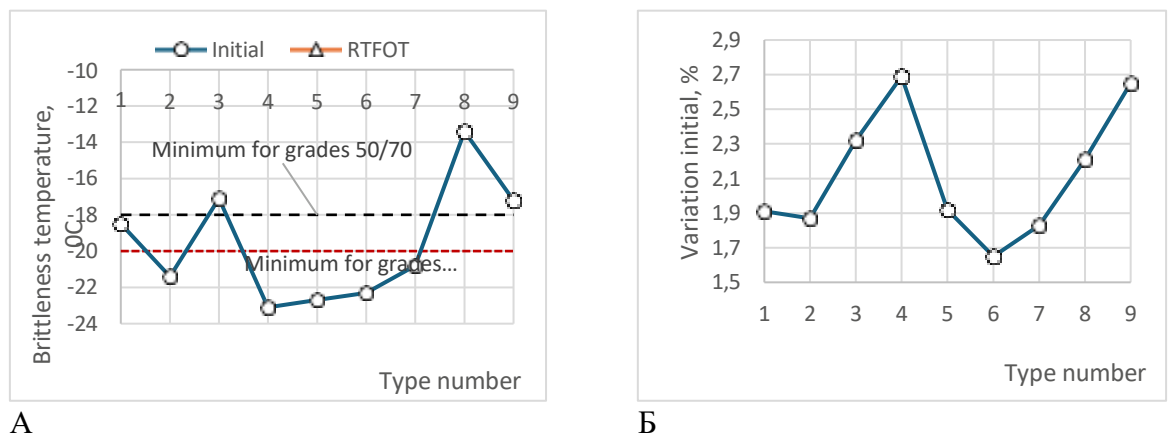
Сурет 3 - Тұтану температурасын өлшеу нәтижелері

Алынған нәтижелерге сәйкес 50/70 маркалы үлгілердің тұтану температурасының орташа мәні 281.2 °C құрады, жеке мәндер 272 - 285 °C диапазонында жатыр, ал вариация коэффициенті 2.1 % құрады. 70/100 маркалы үлгілердің жарқыл температураларының орташа мәні 271.2-ден 310.2 °C-қа дейін, ал вариация коэффициенттері 2.4 % - дан аспайды. 70/100 маркалы үлгілердің барлық түрлері бойынша жарқыл температурасының орташа

көрсеткіші 292.4 °С құрады, вариация коэффициенті 3.96 %. Әрбір үлгідегі алынған орташа жарқыл температурасының көрсеткіштері жоғары сенімділік дәрежесіне ие, ал барлық түрдегі жарқыл температурасының орташа көрсеткіші жоғары конвергенцияға ие (вариация коэффициенттері көрсеткендей). Модификацияланған битумның жарқыл температурасының орташа мәні 281.8 °С, вариация коэффициенті 2.4 % болды. Құю температурасының барлық алынған жеке мәндері 50/70 және 70/100 - 230 °С маркалары үшін шекті рұқсат етілген мәннен асады.

4. Сынғыштық температурасын анықтау

4 - суретте үлгілердің сынғыштық температурасын өлшеу нәтижелері көрсетілген. 4А - суретте битумның әр түрінің 5 үлгісінің орташа көрсеткіштері, ал 4Б - суретте оларға сәйкес вариация коэффициенттері көрсетілген. Сынақтар тек үлгілердің қартаюынсыз бастапқы көрсеткіштерді бағалау үшін жүргізілді.



Сурет 4 - Сынғыштық температурасын өлшеу нәтижелері

Сынақ нәтижелеріне сәйкес 50/70 маркалы үлгілердің сынғыштық температурасының орташа мәні - 18.5 °С, жеке мәндер - (17.8-19.7) °С диапазонында жатыр, ал вариация коэффициенті 1.9 % құрады. 70/100 маркалы үлгілердің сынғыштық температураларының орташа мәндері өндірушіге байланысты -13.4-тен -23.1 °С-қа дейін үлкен таралуды көрсетті. Егер алынған мәндерді нормативтік мәндермен салыстыратын болсақ, төмен маркалы үлгілердің сынғыштығының барлық жеке мәндері талаптарға сәйкес келеді, шекті шектен жоғары - 18.0 °С жоғары емес. 7 өндірушінің 2-і битумның жоғары маркалары үшін сынғыштық температурасы нормативтік талаптарға сәйкес келмейді, шекті көрсеткіштен жоғары -20 °С жоғары емес. модификациядан кейінгі сынғыштық температурасы, сондай-ақ жоғары маркалардың талаптарына сәйкес келеді, алайда, белгілі бір жағдайларда жоғары маркалардың сынғыштығының кейбір орташа мәндерінен төмен.

Қорытынды

1. Әр түрлі маркалар мен өндірушілердің битумдарының температуралық көрсеткіштерін бағалау бойынша сынақтар кешені орындалды. Зерттеудің міндеті модификацияға дейінгі және кейінгі 50/70 маркалы битумдардың температуралық көрсеткіштерін 70/100 маркалы битумдармен салыстыру болды. Эталон ретінде жұмсарту, тұтану және сынғыштық температурасы, сондай-ақ динамикалық тұтқырлық болды.

2. Жұмсарту температурасын өлшеу нәтижелеріне сәйкес, модификацияға дейінгі төмен маркалы (1 нұсқа) битумның бақылау үлгілері тұрақты мәндерді көрсетті, 51.2 °С, ал модификациядан кейін 68.6 °С. жұмсарту температурасының жоғарылауы, ең алдымен, битумға үлкен қаттылық беретін модификатор құрамы бар полимерлердің болуымен

байланысты. Жоғары маркалы үлгілердің жұмсарту температурасы (2-8 нұсқа) орта есеппен 49.3°C құрады. Жоғары маркалы температураның өзгеруі 2.6-дан 6.6 % - ға дейін өзгереді, битумның төмен маркалы үлгілерінің қартаюынан кейінгі температураның өзгеруі орта есеппен 4.4 % құрады, ал модификациядан кейін - 5.6, бұл, ең алдымен, битумның булануы нәтижесінде оның полимерге қатысты көлемдік үлесі төмендейді, сондықтан битум қатайды. Модификацияланған үлгілердің жұмсарту температурасының өзгеруінің кері заңдылығы көбірек оң әсер етеді, өйткені 50/70 және 70/100 маркаларының шекті рұқсат етілген мәнінен көбірек алыс - 7°C аспайды.

3. Динамикалық тұтқырлықты өлшеу нәтижелеріне сәйкес, модификацияға дейінгі төмен маркалы битумның бақылау үлгілері (1 нұсқа) $363.7 \text{ Па}\cdot\text{с}$ құрады, ал $376.6 \text{ Па}\cdot\text{с}$ модификацияланғаннан кейін модификацияланған қоспаның динамикалық тұтқырлықтың өзгеруіне әсері анықталған жоқ, өйткені шамалы өзгерістер жеке өлшемдердің статистикалық қателігі шегінде жатыр және нормативтік талаптарға сәйкес келеді. Жоғары маркалы үлгілердің динамикалық тұтқырлығы (2-8 нұсқа), салыстырылатын типтер бойынша деректердің үлкен жүгірісі бар, бұл 26 % вариация коэффициентімен дәлелденген, орташа есеппен $250.2 \text{ Па}\cdot\text{с}$ құрады. Динамикалық тұтқырлықтың өсу коэффициенттерінің барлық көрсеткіштері 50/70 және 70/100 маркаларының шекті рұқсат етілген мәнінен аспайды - 2.5-тен аспайды. Соңғысы алынған нәтижелердің қолайлылығы, олардың нормаларға сәйкестігі туралы айтады.

4. Тұтану температурасын өлшеу нәтижелеріне сәйкес модификацияға дейінгі төмен маркалы (1 нұсқа) битумның бақылау үлгілері 281.2°C құрады, ал 281.8°C модификациядан кейін қоспаның құрамына енгізілгеннен кейін жарқыл температурасының қандай да бір өзгерістері туралы айтудың қажеті жоқ, өйткені абсолютті және жеке мәндердің шамалы өзгерістері статистикалық қателік шегінде жатыр, ол жоқ битум құрамына модификатордың жаңа компоненттерін қосуға сезімтал (қателік). 70/100 маркалы үлгілердің жарқыл температураларының орташа мәндері $271.2 - \text{ден } 310.2^{\circ}\text{C}$ -қа дейін өзгереді, ал 70/100 маркалы үлгілердің барлық түрлері бойынша орташа көрсеткіш 292.4°C құрады.

5. Сынғыштық температурасын өлшеу нәтижелеріне сәйкес, модификацияға дейінгі төмен маркалы битумның бақылау үлгілері (1 нұсқа) -18.5°C , ал модификациядан кейін - 17.2°C осылайша, модификацияланған қоспаның әсері де сынғыштықтың өзгеруіне сезімтал болмайды, абсолютті және жеке мәндердің өзгеруі статистикалық қателік шегінде болады. 70/100 маркалы үлгілердің сынғыштық температураларының орташа мәндері өндірушіге байланысты - $13.4 - \text{тен } 23.1^{\circ}\text{C}$ - қа дейін үлкен дисперсияны көрсетті, ал орташа көрсеткіш - 20.1°C құрады. Сынғыштық температурасының барлық алынған жеке мәндері 50/70 және 70/100 - 230°C маркалары үшін шекті рұқсат етілген мәннен асады. төмен маркалы үлгілердің сынғыштығының барлық жеке мәндері талаптарға сәйкес келеді, шекті шектен жоғары - 18.0°C жоғары емес. битумның жоғары маркалары үшін бұл көрсеткіш 7 өндірушінің 2-і нормативтік талаптарға сәйкес келмейді (-20°C жоғары емес). Модификациядан кейінгі сынғыштық температурасы да жоғары маркалардың талаптарына сәйкес келмейді, алайда ерекше жағдайларда жоғары маркалардың сынғыштығының кейбір орташа мәндерінен төмен болады.

6. Жалпы, жүргізілген зерттеулерге сәйкес, модификатордың төмен маркалы битум құрамына енгізу температура көрсеткіштерінің нашарлауына теріс әсер етпейді. Кейбір жағдайларда оң әсер (жұмсарту температурасы), басқаларында теріс әсердің болмауы (динамикалық коэффициент, тұтану температурасы және сынғыштық) байқалады, оны жалпы зерттеудің оң нәтижесіне жатқызуға болады. Кейінгі зерттеулер модификацияланған битумдардың физикалық-механикалық көрсеткіштерін бағалауға бағытталған, бұл оның пайдалану жарамдылығын бағалау үшін негіз болып табылады (ену, дуктильділік және т.б.).

Әдебиеттер тізімі

1. Lukpanov R.E., Dyusseminov D.S., Yenkebayev S.B. and Tsygulyov D.V., Impregnation Composition to Increase the Ice-Phobic Properties of Concrete Roads. In Digital Technologies in Construction Engineering, 2022, pp. 305-311. - **журнал (на англ)**
2. Lukpanov R. E., Yenkebayev S. B., Tsygulyov D. V. and Dyusseminov D. S., Assessment of the impact of pile driving on an existing residential building by measuring the vibration effects, Vol. 2758, No. 1, 2023. - **журнал (на англ)**
3. Al-Atroush M.E., Structural behavior of the geothermo-electrical asphalt pavement: A critical review concerning climate change. Heliyon. Vol. 8, No. 12, 2022. - **журнал (на англ)**
4. Kunaev V., Bazarov B., Kadyrov A. and Konakbaeva A., Selective crushing, enrichment by friction properties and hydrophobization for obtaining the sustainable blast furnace slag aggregate for road subbase. Ain Shams Engineering Journal, 2024, p.102928. - **журнал (на англ)**
5. Ongarbayev Y., Teltayev B., Tileuberdi Y., Mansurov Z., Rossi C.O., Cal P., Seilkhanov T., Zhambalova A. and Imanbayev Y. Combined Oxidized Bitumen: Technology, Chemistry and Properties. ES Materials & Manufacturing, Vol. 24, 2023, p.1072. - **журнал (на англ)**
6. Omran M., Shafiee M. and Egorov I., Climate change challenges for flexible pavement in Canada: an overview. Journal of Cold Regions Engineering Vol. 35, Issue 4, 2021, p. 03121002. - **журнал (на англ)**
7. Yang S., Bieliatynskiy A., Pershakov V., Shao M. and Ta M. Asphalt concrete based on a polymer-bitumen binder nanomodified with carbon nanotubes for road and airfield construction. Journal of Polymer Engineering. Vol. 42, Issue 5, 2022, pp. 458-466. - **журнал (на англ)**
8. Unaibayev BZ, Unaibayev BB, Andreyachshenko V. Cast-in-situ piles encasements based on oil-bituminous rocks (kirs) in saline soils. Przegląd Naukowy. Inżynieria i Kształtowanie Środowiska. Vol. 30, No. 91, 2021. - **журнал (на англ)**
9. Porto M., Caputo P., Loise V., Eskandarsefat S., Teltayev B., Oliviero Rossi C. Bitumen and bitumen modification: A review on latest advances. Applied sciences 9, No. 4, 2019, p. 742. - **журнал (на англ)**
10. Ishaq M.A., Giustozzi F. Correlation between rheological tests on bitumen and asphalt low temperature cracking tests. Construction and Building Materials, Vol. 320, 2022, p.126109. - **журнал (на англ)**

Авторлар туралы мәліметтер:

Ашимова Салтанат Жандарбекқызы - PhD, «ҚазжолҒЗИ» АҚ филиалы жол-құрылыс материалдары бөлімінің басшысы, Алматы қ., Қазақстан, s.ashimova@qazjolgzi.kz

Ашимова Салтанат Жандарбековна - PhD, руководитель отдела дорожно-строительных материалов ФАО «КаздорНИИ», Алматы, Казахстан s.ashimova@qazjolgzi.kz

Ashimova Saltanat Zhandarbekovna - PhD, Head of the Road Construction Materials Department, Branch of JSC «KazdorNII», Almaty, Kazakhstan, s.ashimova@qazjolgzi.kz

Алижанов Дінмұхамбет Алижанұлы - «ҚазжолҒЗИ» АҚ филиалы зерттеу зертханасының менгерушісі, Алматы, Қазақстан, d.alizhanov@qazjolgzi.kz

Алижанов Дінмұхамбет Алижанович - заведующий исследовательской лабораторией ФАО «КаздорНИИ» г. Алматы, Казахстан d.alizhanov@qazjolgzi.kz

Alizhanov Dinmukhammet Alizhanovich - Head of the Research Laboratory, Branch of JSC «KazdorNII», Almaty, Kazakhstan, d.alizhanov@qazjolgzi.kz

Бегалиева Сахыпжамал Тимерхановна - «ҚазжолҒЗИ» АҚ филиалы Жол-құрылыс материалдары және жаңа технологиялар бөлімінің жетекші инженері, Алматы, Қазақстан, s.begalieval@qazjolgzi.kz

Бегалиева Сахыпжамал Тимерхановна - Ведущий инженер отдела дорожно-строительных материалов и новых технологий в ФАО «КаздорНИИ» Алматы, Казахстан, s.begalieval@qazjolgzi.kz

Begaliyeva Sakhypzhamal Timerkhanovna - Lead Engineer of the Road Construction Materials and New Technologies Department, Branch of JSC «KazdorNII», Almaty, Kazakhstan, s.begalieval@qazjolgzi.kz

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

Лукпанов Рауан Ермагамбетович - PhD, ассоциированный профессор кафедры «Технология промышленного и гражданского строительства», НАО «Евразийский Национальный университетим. 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

Нигметова Әсемгүл Берікқызы - «ҚазжолҒЗИ» АҚ Ғылым мен инновацияны дамыту департаментінің жетекші инженері, Астана, Қазақстан, a.nigmetova@qazjolgzi.kz

Нигметова Асемгуль Бериккызы - ведущий инженер департамента развития науки и инноваций АО «КаздорНИИ», a.nigmetova@qazjolgzi.kz

Nigmetova Asemgul Berikkyzy - Lead Engineer of the Science and Innovation Development Department, JSC «KazdorNII», Astana, Kazakhstan, a.nigmetova@qazjolgzi.kz

Женисов Темірлан Серіктаевич - «ҚазжолҒЗИ» АҚ сынақ зертханасының инженері, Астана қ., Қазақстан, Астана, Қазақстан, t.zhenissov@qazjolgzi.kz

Женисов Темирлан Сериктаевич - инженер испытательной лаборатории АО «КаздорНИИ», г. Астана, Казахстан, Астана, Казахстан, t.zhenissov@qazjolgzi.kz

Zhenissov Temirlan Seriktaevich - Engineer of the Testing Laboratory, JSC KazdorNII, Astana, Kazakhstan, Astana, Kazakhstan, t.zhenissov@qazjolgzi.kz

Авторлардың үлесі:

С.Ж. Ашимова - тұжырымдама, әдістеме, ресурстар, деректерді жинау, тестілеу, модельдеу, талдау, визуализация, интерпретация, мәтінді дайындау, редакциялау, қаржыландыру алу.

Д.А. Алижанов - деректерді жинау, тестілеу, модельдеу, талдау, интерпретация, мәтінді дайындау.

С.Т. Бегалиева - ресурстар, деректерді жинау, талдау, интерпретация, мәтінді дайындау және редакциялау.

Ә. Б. Ниғметова - деректерді жинау, талдау, мәтінді дайындау.

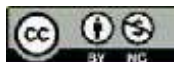
Т.С. Женисов - деректерді жинау, тестілеу, визуализация.

Мүдделер қақтығысы:

Авторлар мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

Жасанды интеллектті (AI) пайдалану:

Мақаланы дайындау барысында жасанды интеллект тек тілдік редакциялау, грамматикалық және стилистикалық түзетулер енгізу мақсатында қолданылды.



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/>).

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

**Ашимова С.Ж.², Лукпанов Р.Е.³, Бегалиева С.Т.²,
Нигметова А.Б.^{1*}, Женисов Т.С.¹**

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

²Филиал АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт», Алматы, Казахстан

³Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилёва, Астана, Казахстан

*Корреспондирующий автор: a.nigmatova@qazjolgzi.kz

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. Однако битум, вследствие воздействия температур и солнечной радиации, подвержен старению, что снижает его эластичность, адгезию и устойчивость к деформациям. 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. 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, хрупкость, испытание RTFOT.

ASSESSMENT OF TEMPERATURE BEHAVIOR OF MODIFIED LOW-GRADE BITUMEN COMPARED TO HIGHER-GRADE BINDERS

**S.Zh. Ashimova², R.E. Lukpanov³, S.T. Begaliev²,
A.B. Nigmatova^{1*}, T.S. Zhenisov¹**

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

²Branch of the «Kazakhstan Road Research Institute» JSC, Almaty, Kazakhstan

³L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

*Corresponding author: a.nigmatova@qazjolgzi.kz

Abstract. To ensure the durability of asphalt concrete pavements, different grades of bitumen are used depending on the climatic zone: for hotter southern regions, lower-grade bitumens such as 70/100 and below are applied, while for colder northern regions, bitumen grade 100/130 is used. However, bitumen is prone to aging under the influence of temperature and solar radiation, which reduces its elasticity, adhesion, and resistance to deformation. The aim of this study is to analyze the effect of a modifying additive on the properties of low-grade bitumen and to compare the obtained results with the characteristics of higher-grade bitumen. Tests were carried

out on bitumen samples of grades M 50/70 and M 70/100 from various manufacturers. Accelerated aging of the bitumen samples was conducted in an RTFOT chamber to simulate natural aging conditions. Thus, the inclusion of a modifier in low - grade bitumen does not negatively affect the deterioration of its temperature - related properties; moreover, in some cases, it demonstrates results superior to those of higher - grade bitumen.

Keywords: bitumen, bitumen softening point, ductility, bitumen flash point, brittleness, RTFOT test.




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/>).



<https://doi.org/10.71031/qhsi.2025.v1.i4.006>

ПРИМЕНЕНИЕ ЗОЛЫ-УНОСА И ДРУГИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ

<https://orcid.org/0009-0008-3998-3100>  Ожауқан Н.Т.^{1*}, Жылкышбаева Н.Б.²,
Алшинбаева А.М.², Тулькенов К.Д.^{1,2}, Ибраева А.А.²

¹ *НАО «Л.Н.Гумилев атындағы Евразийский национальный университет», Астана, Казахстан

²АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт», Астана, Казахстан

*Корреспондент автор: nurcatt@gmail.com

Аннотация. В статье представлен обзор современных технологий строительства цементобетонных автомобильных дорог в контексте повышения долговечности, экологической устойчивости и экономической эффективности транспортной инфраструктуры. Проанализированы мировые тенденции применения бетонных покрытий в странах с различными климатическими условиями, а также возможности их внедрения в Республике Казахстан и Центральной Азии. Особое внимание уделено использованию минеральных добавок и промышленных отходов (зола-унос, доменный шлак, микрокремнезём, стеклобой) для модификации цементобетонных смесей. Рассмотрены результаты исследований влияния добавок на прочность, водопоглощение, морозостойкость и трещиностойкость бетона. Обобщён зарубежный опыт применения монолитных, сборных и армированных бетонных покрытий, включая технологии CRCP, RCC и whitetopping. Показано, что применение модифицированных бетонных покрытий позволяет увеличить срок службы дорог до 30-50 лет и снизить эксплуатационные затраты до 30-40 %. Выявлены перспективы применения данных технологий для условий Казахстана с учётом климатических и эксплуатационных особенностей.

Ключевые слова: бетонные покрытия, цементобетон, долговечность, модифицированные бетоны, зола-унос, доменный шлак, микрокремнезём, стеклобой, промышленные отходы, устойчивое строительство, дорожные материалы, CRCP, RCC, whitetopping, морозостойкость, прочность, водопоглощение, транспортная инфраструктура.

Введение

Развитие транспортной инфраструктуры является одним из ключевых факторов экономического роста и социальной стабильности государства. В условиях растущих нагрузок на дорожные покрытия, вызванных увеличением интенсивности движения тяжёлого автотранспорта, возрастают требования к долговечности, надёжности и экономической эффективности автомобильных дорог. В этом контексте бетонные покрытия вновь привлекают внимание как альтернатива традиционному асфальтобетону, благодаря их высокой прочности, устойчивости к климатическим воздействиям и низким эксплуатационным затратам.

В мировой практике (США, Германия, Китай, Нидерланды) бетонные дороги широко применяются в магистральном и промышленном строительстве. По данным Федерального управления автомобильных дорог США (FHWA), срок службы бетонного покрытия при правильной эксплуатации может достигать 30-40 лет, что почти в два раза превышает срок службы асфальтобетонных аналогов. При этом суммарные жизненные затраты (life-cycle cost) на бетонные дороги оказываются ниже за счёт редких ремонтов и меньших затрат на содержание [1].

Актуальность применения цементобетонных покрытий в Республике Казахстан и странах Центральной Азии обусловлена сочетанием факторов: резкие температурные перепады, высокий уровень ультрафиолетового излучения, а также интенсивная эксплуатация транспортной сети в условиях транзитных грузоперевозок по международным коридорам. Применение традиционного асфальтобетона в таких условиях приводит к ускоренной колееобразованию, трещинообразованию и выкрашиванию, что требует частых ремонтов и увеличивает эксплуатационные затраты.

Методология

В последние годы значительное внимание уделяется модификации бетонных смесей с использованием промышленных и энергетических отходов - золы-уноса, доменного шлака, микрокремнезёма и т.д. Такая технология позволяет не только улучшить прочностные и деформационные характеристики бетона, но и снизить углеродный след строительства, что соответствует целям устойчивого развития (SDGs) и международным климатическим соглашениям (Парижское соглашение, 2015). Например, исследования в Польше (Kozłowski et al., 2021) показали, что замена 20-30 % портландцемента золой-уносом снижает тепловыделение при твердении, повышает стойкость к воздействию солей и морозу, а также уменьшает выбросы CO₂ на 15-20 % [2].

Кроме того, современное проектирование бетонных дорог невозможно без учёта механики взаимодействия колёс транспортных средств и покрытия, оптимизации толщины плит и швов, внедрения методов непрерывного армирования (CRCP – continuously reinforced concrete pavement) и использования высокопрочных цементных композиций. В ряде стран (Канада, Южная Корея) уже внедрены гибридные конструкции с тонким слоем асфальта поверх бетона (whitetopping), что позволяет сочетать преимущества обеих технологий.

Таким образом, в условиях увеличения интенсивности движения, климатических вызовов и необходимости снижения экологического воздействия, бетонные дороги представляют собой перспективное направление развития дорожного строительства. Цель данного обзора — проанализировать современные тенденции, инновационные материалы и технологические решения в области строительства бетонных автомобильных дорог, с акцентом на зарубежный опыт и возможности применения в Казахстане.

В последние десятилетия в ряде стран проведены масштабные исследования, направленные на оптимизацию состава цементобетона для дорожных покрытий с использованием промышленных отходов. Эти работы имеют выраженную прикладную направленность, так как связаны не только с повышением долговечности дорожных конструкций, но и с решением задач экологической безопасности.

Зола-унос (fly ash), образующаяся при сжигании угля на тепловых электростанциях, активно применяется в дорожном строительстве в США, Китае, Индии, Австралии и странах ЕС. Исследования показывают, что частичная замена портландцемента золой-унос в количестве 15-30 % позволяет:

- снизить тепловыделение при твердении;
- уменьшить усадочные деформации;
- повысить долговечность в условиях циклического замораживания и оттаивания;
- улучшить рабочую удобоукладываемость смеси за счёт сферической формы частиц.

В США, согласно данным Federal Highway Administration (FHWA), ежегодно в дорожном строительстве используется до 12 млн тонн золы-уноса, при этом доля её применения в бетонных покрытиях составляет около 50 % от общего объёма.

Доменные и сталеплавильные шлаки обладают латентной гидравлической активностью и в присутствии щелочных активаторов способны формировать прочную структуру цементного камня. В Германии и Японии применение гранулированного доменного шлака в количестве 25-40 % от массы цемента позволяет повысить стойкость бетона к сульфатной коррозии и агрессивным средам, что особенно важно при устройстве дорог в прибрежных зонах [3].

В Канаде и Австралии тонкомолотый стеклбой используется как пуццолановая добавка и как частичная замена кварцевого песка в дорожных бетонах. Применение 10-20 % стеклбоя улучшает микроструктуру за счёт формирования дополнительного геля C-S-H, а также снижает пористость.

Таблица 1 - Применение промышленных отходов в цементобетонных дорожных покрытиях в разных странах

Страна	Вид отхода	Доля замены вяжущего, %	Основные эффекты применения	Источник
США	Зола-унос	15-30	Увеличение долговечности, снижение тепловыделения	FHWA, 2021
Германия	Шлак	25-40	Устойчивость к сульфатной коррозии, повышение морозостойкости	Müller et al., 2020
Япония	Шлак	20-35	Повышение трещиностойкости и прочности на изгиб	Tanaka et al., 2019
Канада	Стеклобой	10-20	Снижение пористости, улучшение структуры	Shao et al., 2020
Австралия	Зола-унос, стеклбой	15-25	Повышение износостойкости, уменьшение усадки	Thomas et al., 2021

Результаты и Обсуждение

Графические данные по изменению прочности и водопоглощения при замене цемента золой-унос и шлаками показывают, что оптимальная степень замещения варьирует в пределах 15-30 %, при этом рост долговечности может достигать 40-50 % по сравнению с контрольными составами [4]. На рисунке 1 показан оптимальный диапазон 15-20 % для максимальной прочности и минимального водопоглощения.

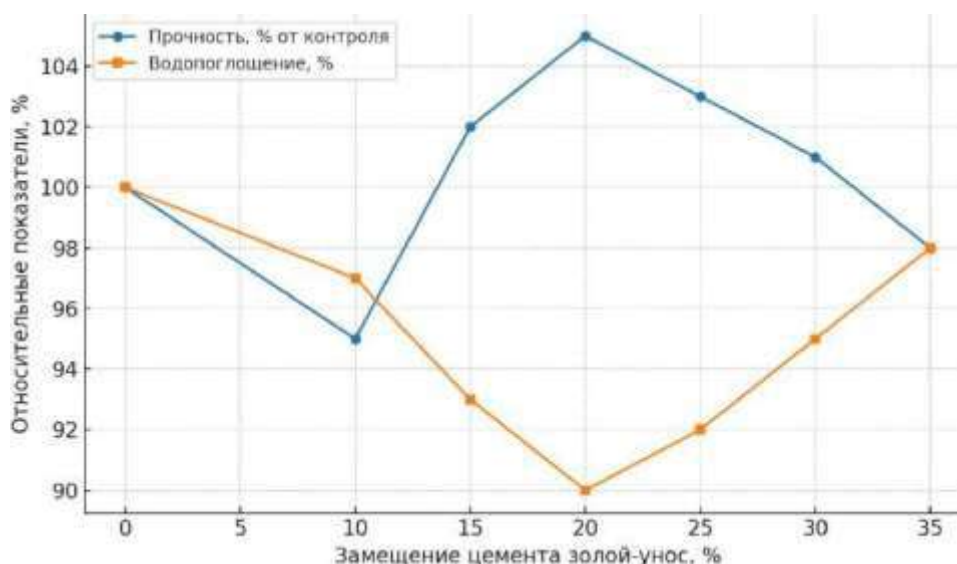


Рисунок 1 - Влияние замещения цемента золой-унос на прочность и водопоглощение

В последние годы в мировой и отечественной практике строительства автомобильных дорог наблюдается значительный интерес к применению цементобетонных покрытий. Данный тип покрытия демонстрирует высокую износостойкость, долговечность и устойчивость к неблагоприятным климатическим условиям, что особенно актуально для регионов с резкими температурными колебаниями и высокими нагрузками на транспортную инфраструктуру.

Традиционная технология устройства бетонных дорог предполагает укладку монолитного цементобетонного слоя толщиной 22-28 см на подготовленное основание. Бетон уплотняется с помощью вибробруса или бетоноукладчика, после чего производится резка температурных швов и их герметизация. В мировой практике, в частности в США и Германии, особое внимание уделяется качеству исходных материалов: применяются высококачественные цементы (СЕМ I 42,5 и выше), щебень с высоким модулем упругости и модифицирующие добавки, снижающие усадочные деформации.

В условиях необходимости ускоренного ввода дороги в эксплуатацию применяются сборные железобетонные плиты заводского изготовления. Их монтаж возможен за 2–3 дня на участке в несколько километров, что критически важно для ремонта магистралей с высокой транспортной нагрузкой. Однако такие покрытия требуют высокоточной геометрии основания и сложных технологий стыковки плит.

В Японии и Южной Корее подобная технология активно используется в мегаполисах, где даже кратковременная остановка движения ведёт к значительным экономическим потерям.

Для повышения прочности и трещиностойкости покрытия применяются различные виды армирования - от стальной сетки до дисперсной стальной и полимерной фибры. Исследования показывают, что введение 0,5-1,0 % полипропиленовой фибры значительно снижает развитие микротрещин на ранних стадиях твердения бетона, что увеличивает срок службы покрытия до 30-40 лет [6]. На рисунке 2 мы можем увидеть значительное снижение микротрещин при 0,5-1 % фибры.

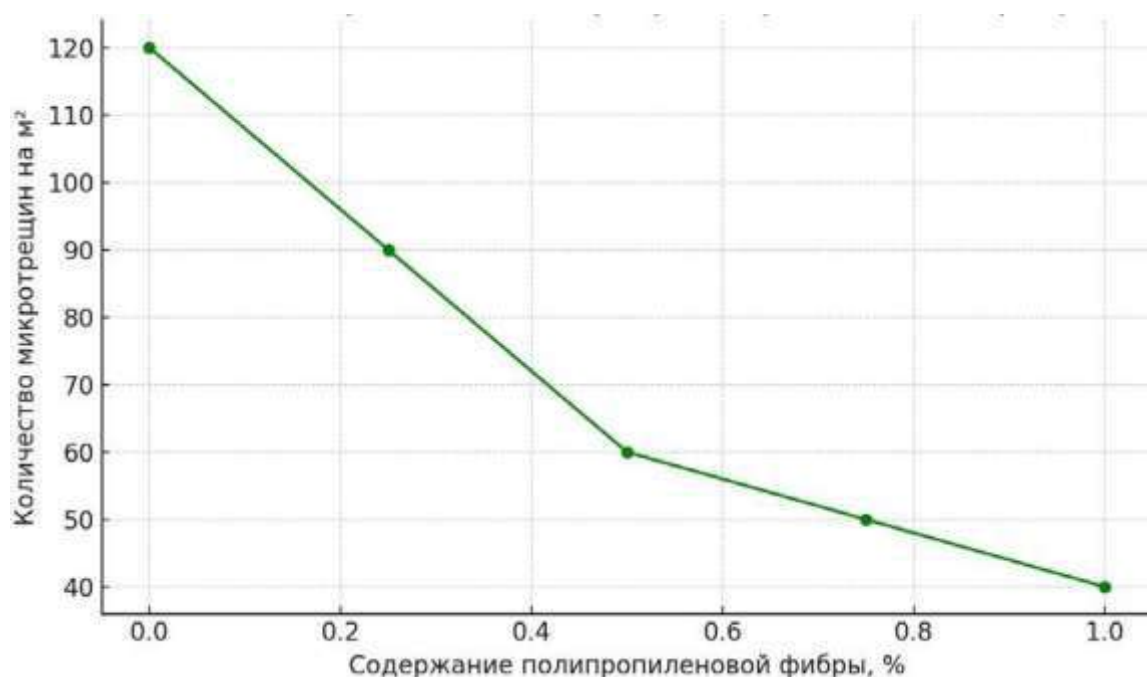


Рисунок 2 - Влияние полипропиленовой фибры на развитие микротрещин

RCC - это технология, в которой используется жёсткая бетонная смесь с низким водоцементным отношением. Смесь укладывается слоями и уплотняется дорожными катками, что ускоряет процесс строительства и снижает себестоимость. Такой подход получил широкое распространение в Канаде и Австралии для строительства дорог в промышленных зонах.

Применение цементобетонных покрытий в дорожном строительстве имеет ряд технологических, экономических и эксплуатационных преимуществ, которые обуславливают растущий интерес к этому виду дорожных конструкций в мире.

Срок службы бетонных дорог в среднем составляет 20-40 лет без капитального ремонта, что значительно превышает аналогичный показатель для асфальтобетонных покрытий (обычно 8-12 лет). Например, в Германии бетонные участки автобанов, построенные в 1980-х годах, до сих пор находятся в эксплуатации с минимальными ремонтами, при этом выдерживая интенсивное движение грузового транспорта [7].

Бетон обладает модулем упругости 25-35 ГПа, что обеспечивает равномерное распределение нагрузок на основание. Это особенно важно на дорогах с тяжёлым транспортом (фуры, автобусы), где асфальт склонен к колееобразованию. В Канаде исследования показали, что бетонные покрытия сохраняют ровность профиля даже при нагрузках свыше 11,5 тонн на ось [8].

Бетонные дороги менее подвержены термопластическим деформациям летом и трещинообразованию зимой, особенно при применении морозостойких цементов и воздушно-вовлекающих добавок.

В Казахстане и России уже есть успешные пилотные проекты бетонных трасс, которые показали, что покрытие сохраняет эксплуатационные характеристики при температурных колебаниях от -40 °С до +40 °С.

Хотя первоначальная стоимость устройства бетонной дороги на 20-40 % выше, чем асфальтовой, затраты на ремонт и содержание за весь срок службы оказываются на 30-50 % ниже. По данным Федерального управления автомобильных дорог США (FHWA), суммарные эксплуатационные расходы на бетонные покрытия за 30 лет в среднем на 37 % меньше, чем на асфальтобетонные.

Экологические преимущества:

-Возможность применения промышленных отходов (зола-унос, шлаки, микрокремнезём) в составе бетонной смеси.

-Отсутствие нефтепродуктов в составе, что снижает выбросы ЛОС (летучих органических соединений).

-Более высокий коэффициент отражения солнечного света, что снижает эффект городского теплового острова.

Бетон имеет светлую поверхность, что улучшает видимость в ночное время. Кроме того, современные технологии текстурирования позволяют создавать поверхность с высоким коэффициентом сцепления, уменьшая риск аквапланирования.

Заключение

Развитие технологий строительства бетонных автомобильных дорог отражает общую тенденцию к повышению долговечности, экологической устойчивости и экономической эффективности транспортной инфраструктуры. Проведённый обзор современных научных исследований и практических решений показал, что ключевыми направлениями совершенствования остаются:

1. Модификация состава бетона - применение минеральных добавок (зола-уноса, шлаки, микрокремнезём) и полимерных компонентов позволяет не только улучшить прочностные и морозостойкие характеристики, но и снизить углеродный след производства.

2. Использование вторичных ресурсов - переработанные строительные отходы и промышленные побочные продукты способствуют формированию замкнутого цикла материалов, что соответствует принципам «зелёного» строительства.

3. Инновационные методы укладки и ухода - внедрение автоматизированных систем контроля качества, лазерного нивелирования и ускоренного твердения повышает производительность и надёжность дорожного покрытия.

4. Долговечность и эксплуатационные характеристики - исследования показывают, что правильно спроектированные и построенные бетонные дороги способны служить 30–50 лет при минимальном ремонте, что оправдывает их более высокую начальную стоимость по сравнению с асфальтовыми покрытиями [9, 10].

Таким образом, бетонные автомобильные дороги остаются стратегически важным направлением развития транспортной сети, особенно в условиях возрастающих нагрузок, климатических вызовов и необходимости снижения эксплуатационных затрат. Их дальнейшее совершенствование возможно при комплексном подходе, включающем как инновационные материалы, так и передовые методы строительства и управления жизненным циклом дорожных сооружений.

Список литературы

1. Malhotra, V.M., Mehta, P.K. High-Performance, High-Volume Fly Ash Concrete. Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development Inc., 2002. - **книга (на англ)**
2. Thomas, M. Optimizing the Use of Fly Ash in Concrete. Portland Cement Association, 2007. - **книга (на англ)**
3. Hemalatha, T., Ramaswamy, A. A review on fly ash characteristics - Towards promoting high volume utilization in developing sustainable concrete. Journal of Cleaner Production, 2017. - **журнал (на англ)**
4. Siddique, R. Utilization of industrial by-products in concrete. Procedia Engineering, 2012. - **журнал (на англ)**
5. Naik, T.R., Kraus, R.N. The role of fly ash in concrete. Journal of Materials in Civil Engineering, 2003. - **журнал (на англ)**
6. ASTM C618 – Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete. - **стандарт (на англ)**

7. Huang, B., Shu, X., Burdette, E.G. Mechanical properties of asphalt mixtures containing fly ash. *Construction and Building Materials*, 2009. - журнал (на англ)
8. Sear, L.K.A. Properties and Use of Coal Fly Ash: A Valuable Industrial By-Product. Thomas Telford Publishing, 2001. - книга (на англ)
9. FHWA. Fly Ash Facts for Highway Engineers. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, 2021. - электронный ресурс (на англ)
10. EN 450-1: Fly ash for concrete - Part 1: Definition, specifications and conformity criteria. - стандарт (на англ)

Сведения об авторах (на трех языках):

Ожауқан Нұрсәт Талғатұлы - 2-ші курс студенті, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті КЕАҚ, Астана, Қазақстан, nupcatt@gmail.com

Ожауқан Нурсат Талгатович - студент 2 курса, НАО «Евразийский Национальный Университет им Л.Н.Гумилева», Астана, Казахстан, nupcatt@gmail.com

Ozhaukan Nursat Talgatuly – 2 year student, NJSC «L.N. Gumilyov Eurasian National University», Astana, Kazakhstan, nupcatt@gmail.com

Алшинбаева Ақмарал Мақсатқызы - АҚ «Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты» сынақ зертханасының меңгерушісі, Астана, Қазақстан, alshinbayeva@qazjolgzi.kz

Алшинбаева Акмарал Максатовна - Заведующая испытательной лаборатории АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт», Астана, Казахстан, a.alshinbayeva@qazjolgzi.kz

Alshinbayeva Akmaral Maksatovna - Head of Testing Laboratory, JSC «Kazakhstan Road Research Institute», Astana, Kazakhstan, a.alshinbayeva@qazjolgzi.kz

Жылқышбаева Назым Болатқызы - АҚ «Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты» сынақ зертханасының жетекші инженері, Астана, Қазақстан, n.zhylkyshbaeva@qazjolgzi.kz

Жылқышбаева Назым Болатовна - Ведущий инженер испытательная лаборатории АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт», Астана, Казахстан, n.zhylkyshbaeva@qazjolgzi.kz

Zhylkyshbaeva Nazym Bolatovna - Senior Engineer of Testing Laboratory, JSC «Kazakhstan Road Research Institute», Astana, Kazakhstan, n.zhylkyshbaeva@qazjolgzi.kz

Тұлқенов Камал Дәуренұлы - «Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті» КЕАҚ-тың магистранты, «Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты» АҚ-ның жетекші инженері, Астана, Қазақстан, k.tulkenov@qazjolgzi.kz

Тұлқенов Камал Дауренович - магистрант НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», ведущий инженер АО «Казахстанский дорожный научный-исследовательский институт», Астана, Казахстан, k.tulkenov@qazjolgzi.kz

Tulkenov Kamal Daurenovich - master's student at the Non-Profit Joint Stock Company «L.N. Gumilyov Eurasian National University», leading engineer at the Joint Stock Company «Kazakhstan Road Research Institute», Astana, Kazakhstan, k.tulkenov@qazjolgzi.kz

Ибраева Айшолпан Асылхановна - АҚ «ҚазжолҒЗИ» Ғылым мен инновацияларды дамыту департаментінің маманы, Астана, Қазақстан, a.ibrayeva@qazjolgzi.kz

Ибраева Айшолпан Асылхановна - специалист департамента развития науки и инноваций АО «КаздорНИИ», Астана, Казахстан, a.ibrayeva@qazjolgzi.kz

Ibraeva Aisholpan Asylkhanovna - Specialist, Department of Science and Innovation Development, JSC «KazdorNII», Astana, Kazakhstan, a.ibrayeva@qazjolgzi.kz

Вклад авторов:

Ожауқан Н.Т. - постановка цели и задач исследования, разработка методологии, анализ литературных источников, подготовка первоначального текста статьи и оформление результатов исследования.

Жылкышбаева Н.Б. - сбор и систематизация экспериментальных данных, проведение испытаний, анализ результатов лабораторных исследований, подготовка графиков, таблиц и иллюстраций.

Алшинбаева А.М. - руководство лабораторными работами, контроль качества экспериментов, консультации по технологическим аспектам, проверка достоверности данных и редактирование текста статьи.


Тулкенов К.Д. - участие в проведении лабораторных испытаний, обработка результатов мониторинга температурного и влажностного режимов дорожной конструкции, подготовка графических материалов и участие в формировании итоговых аналитических выводов исследования.

Ибраева А.А. - участие в организационном и информационном сопровождении исследования, подготовка и систематизация материалов для публикации, анализ данных, редакционная обработка текста статьи, оформление аннотации, ключевых слов и сведений об авторах на трех языках, участие в подготовке статьи к публикации в научном журнале.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

ҰНТАҚТЫ КӨМІР ҚҰРҒАТЫСЫ ЖӘНЕ БАСҚА ӨНДІРІСТІК ҚАЛДЫҚТАРДЫ ПАЙДАЛАҢУ

<https://orcid.org/0009-0008-3998-3100>  **Н.Т. Ожауқан¹*, Н.Б. Жылкышбаева²,
А.М. Алшинбаева², Қ.Д. Түлкенов^{1,2}, А.А. Ибраева²**

¹ КЕАҚ «Л.Н.Гумилев атындағы Еуразиялық Ұлттық Университет» Астана, Қазақстан


² АҚ «Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты», Астана, Қазақстан

*Байланыс авторы: nupcatt@gmail.com

Аннотация. Мақалада цемент-бетон автомобиль жолдарын салудың заманауи технологиялары қарастырылып, көлік инфрақұрылымының беріктігін, экологиялық тұрақтылығын және экономикалық тиімділігін арттыру мәселелері талданған. Өртүрлі климаттық жағдайлары бар елдерде бетон жабындарды қолдану жаһандық тенденциялары зерттеліп, Қазақстан Республикасы мен Орталық Азияда олардың енгізу мүмкіндіктері қарастырылған. Минералдық қоспалар мен өндірістік қалдықтарды (ұнтақты көмір күлін, домна шлактарын, микроқұмды, сынық шыныны) цемент-бетон қоспаларын модификациялау үшін қолдануға ерекше назар аударылған. Қоспалардың бетонның беріктігіне, су сіңіруіне, аязға төзімділігіне және жарыққа төзімділігіне әсері зерттелген нәтижелер қарастырылған. Монолиттік, зауыттық және арматураланған бетон жабындарын, соның ішінде CRCP, RCC және whitetopping технологияларын қолдану бойынша шетелдік тәжірибе сараланған. Модификацияланған бетон жабындарын қолдану жолдардың қызмет мерзімін 30-50 жылға дейін ұзартуға және эксплуатациялық шығындарды 30-40 %-ға азайтуға мүмкіндік беретіні көрсетілген. Қазақстан жағдайында климаттық және эксплуатациялық ерекшеліктерді ескере отырып, осы технологияларды қолдану перспективалары анықталған.

Түйінді сөздер: бетон жабындар, цемент-бетон, беріктік, модификацияланған бетондар, ұнтақты көмір күлі, домна шлақы, микроқұм, сынық шыны, өндірістік қалдықтар, тұрақты құрылыс, жол материалдары, CRCP, RCC, whitetopping, аязға төзімділік, беріктік, су сіңіру, көлік инфрақұрылымы.

APPLICATION OF FLY ASH AND OTHER INDUSTRIAL WASTES IN PRODUCTION

<https://orcid.org/0009-0008-3998-3100>  N.T. Ozhaukan^{1*}, N.B. Zhylykshbayeva², A.M. Alshinbayeva²,
K.D. Tulkenov^{1 2}, A.A. Ibrayeva²

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

² JSC «Kazakhstan Road Research Institute», Astana, Kazakhstan

*Corresponding author: nypcatt@gmail.com

Abstract. This article presents a review of modern technologies for constructing cement concrete roads, focusing on increasing durability, environmental sustainability, and economic efficiency of transport infrastructure. Global trends in the use of concrete pavements in countries with various climatic conditions are analyzed, as well as the possibilities for their implementation in the Republic of Kazakhstan and Central Asia. Special attention is given to the use of mineral additives and industrial wastes (fly ash, blast furnace slag, microsilica, crushed glass) for modifying cement concrete mixtures. The results of studies on the effects of these additives on strength, water absorption, frost resistance, and crack resistance of concrete are reviewed. Foreign experience in the use of monolithic, precast, and reinforced concrete pavements, including CRCP, RCC, and whitetopping technologies, is summarized. It is shown that the use of modified concrete pavements can extend the service life of roads to 30–50 years and reduce operating costs by 30–40 %. Prospects for the application of these technologies under the conditions of Kazakhstan, taking into account climatic and operational features, are identified.

Keywords: concrete pavements, cement concrete, durability, modified concretes, fly ash, blast furnace slag, microsilica, crushed glass, industrial wastes, sustainable construction, road materials, CRCP, RCC, whitetopping, frost resistance, strength, water absorption, transport infrastructure



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/>).



<https://doi.org/10.71031/qhsi.2025.v1.i4.007>

**ПРАКТИЧЕСКИЙ ИМПАКТ СТРУКТУРЫ АВТОДОРОЖНОЙ СИСТЕМЫ
«ЗЕМЛЯНОЕ ПОКРЫТИЕ - АСФАЛЬТОБЕТОН» НА ПОВЫШЕНИЕ
БЕЗОПАСНОСТИ, ЭКОНОМИЧНОСТИ И ЭКОЛОГИЧНОСТИ ДОРОЖНОГО
ДВИЖЕНИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Жакипбаев Б.Е.^{1*}, Досалиев Қ.С.²

¹PhD, ассоциированный профессор, главный научный сотрудник Инженерно-технологического хаба, профессор кафедры «Нефтяное и строительное производство», Учреждение «Университет дружбы народов имени академика А. Куатбекова», Шымкент, Казахстан.

²PhD, заведующий кафедрой «Промышленное, гражданское и дорожное строительство» НАО «Южно-Казахстанский университете имени М. Ауэзова», Шымкент, Казахстан.

* Корреспондент автор: bibol.ye.zhakipbayev@mail.ru

Аннотация. Одним из приоритетных направлений, является совершенствование методов уплотнения земляного полотна и покрытия дорожной одежды, с применением техногенных отходов различных производств. Это позволяет производить проектирование и усиление эксплуатируемого инженерного сооружения за счет стабилизации водно-теплового режима конструкции, без ограничения движения и ликвидации балластных углублений дорожного полотна, рационально использовать природные ресурсы, с сохранением ландшафта местности. Практическое применение решаемых вопросов требует комплексного и рационального использования вторичных материально-сырьевых ресурсов и отходов различных производств. К настоящему времени доля их использования составляет около 3-5 %, вместо расчетных значений в общем показателе 25-30 % в объеме сырья. Поэтому, в период индустриально-инновационного развития, вопросы рационального и комплексного использования отходов различных отраслей, с улучшением качества подстилающего слоя и полотна автомобильных дорог, имеют важное практическое значение. В статье представлены графики и экспериментальные данные исследования опытного отрезка дорожной одежды коробчатого типа на участке автомобильной дороги А-1 с ПК 37-50 по ПК 37-65. По результатам исследований коэффициента теплопроводности подстилающего слоя из смеси суглинка, супеси, ВВП угледобычи и фосфогипса можно сделать следующий вывод: по теплофизическим свойствам подстилающий слой для сооружения земляного полотна автомобильной дороги имеет высокую пригодность.

Ключевые слова: дорожная одежда коробчатого типа, автодорожная система «земляное покрытие – асфальтобетон», подстилающий слой из отходов промышленных предприятий: терриконы, фосфогипс, гранулированный и литой электротермофосфорный шлак.

Введение

Значительными сдерживающими факторами устойчивости земляного полотна и дорожного покрытия для надежной эксплуатации автомобильных дорог является также наличие дефектного земляного полотна, создающего чрезвычайные ситуации. Их протяженность иногда достигает 5-6 %, от общей протяженности автомобильной трассы, где нижнее строение дорожной одежды работает на пределе своей несущей способности.

Ежегодно для строительства и реконструкции автомобильных дорог по данным расходуется около 4,4 млн.м³ супеси; 2,5 млн.м³ суглинка; 2 млн.м³ гравийно-щебеночного материала и 800 тыс.т. цемента.

За последние 3 года в Республике Казахстан отремонтировано более 5 тыс. км автомобильных дорог междугородного значения, не считая пригородные сообщения. Только лишь на прокладку автомагистрали Шымкент-Сарыагаш израсходовано более 1,2 млн.м³ материалов для прокладки земляного подстилающего слоя, что повлекло за собой нарушение ландшафта и экологического равновесия, включая фауну и флору.

Кроме того, защита окружающей среды, исключение нарушения ландшафта местности, как указано выше, не снимаются с повестки дня и возникает необходимость применения альтернативных подручных сырьевых материалов из отходов промышленных предприятий для снижения чрезвычайных и аварийных ситуаций.

В то же время, на предприятиях фосфорной подотрасли и угледобывающей промышленности накопились миллионы тонн отходов производств в виде электротермофосфорных шлаков, фосфогипса и внутренних вскрышных пород, образующиеся при переработке фосфоритов бассейна Каратау и добыче углей, позволяющие решить рациональное использование материальных ресурсов и экологическую проблему промышленных регионов со снижением чрезвычайных и аварийных ситуаций на автомобильных дорогах местного назначения.

Цель исследования – разработка подстилающего слоя и сборной дорожной одежды, для обеспечения безопасности при эксплуатации автомобильных дорог, позволяющих снизить чрезвычайные и аварийные ситуаций и защиты окружающей среды, за счет использования отходов производства минеральных удобрений и желтого фосфора, а также угледобывающей промышленности.

Важность рационального и комплексного применения сырьевых материалов со снижением чрезвычайных и аварийных ситуаций можно рассматривать в следующих направлениях:

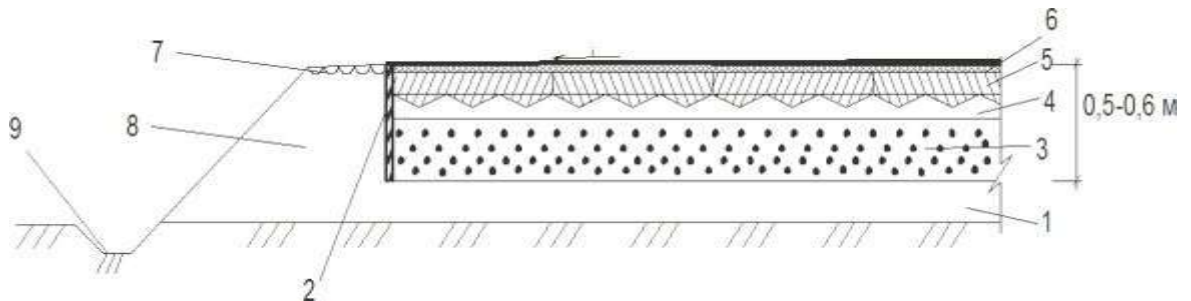
- утилизация отходов различных производств и промышленности для освобождения выделенных под отвалов и различных шламохранилищ посевные земельные угодия;
- решать вопросы защиты окружающей среды;
- исключить вредное воздействие выбросов различных газообразующих элементов в окружающую среду.

Все указанное является актуальной задачей для безопасности и жизнедеятельности людей, снижения чрезвычайных и аварийных ситуаций на автомобильных дорогах местного и пригородного назначения. К тому же промышленные отходы хорошо показали в получении строительных материалов и изделий, так остро необходимых при строительстве автомобильных дорог.

Методология

Для проверки теоретических расчетов и экспериментальных данных исследования дорожной одежды коробчатого типа, на участке автомобильной дороги А-1 с ПК 37-50 по ПК 37-65 в ТОО «Отау строй» осенью 2016 г. построен опытный отрезок. Это сделано для выявления особенностей водно-теплового режима земляного полотна дорожной одежды коробчатого типа, определения расчетных параметров применяемых конструкций

дорожной одежды, а также для обоснования эффективности использования отходов фосфорной и угледобывающей промышленности в качестве компонентов шихты для коробки и подстилающего слоя дорожной одежды, снижающих пучение и появление ям и выбоин, приводящих к чрезвычайным и аварийным ситуациям с человеческими травмами и жертвами. Поперечный профиль дорожной одежды коробчатого типа опытного участка приведен в соответствии с рисунком 1.



- 1 - слой основания; 2 - боковая стенка коробки из тощего бетона;
 3 - подстилающий слой; 4 - песок; 5 - бетонные плиты, нижняя поверхность которых выполнена в виде остроконечных конусообразных элементов;
 6 - верхняя поверхность амортизирующего слоя из асфальтобетона; 7 - обочина автомобильной дороги; 8 - откосы автомобильной дороги; 9 - поверхностный водоотвод

Рисунок 1 - Поперечный профиль дорожной одежды коробчатого типа

Построенная конструкция автомобильной дороги представляет собой покрытие на ровной поверхности земли, шириной 4,0 м и длиной 15,0 м. Поверхностный уклон проезжей части автомобильной дороги двухскатный, с уклоном наклона 20 %.

Для закладки коробки на опытном участке данной автомобильной дороги из тощего бетона было использовано 8,2 м³ литого электротермофосфорного шлака с хранилища Таразского металлургического завода, 1,9 м³ гранулированного электротермофосфорного шлака Ново-Джамбулского фосфорного завода, 1,4 м³ цемента и 1,3 м³ воды. Возведение насыпи произведено из местного суглинки и супеси, перемешанных с фосфогипсом – отходом завода минеральных удобрений ТОО «Казфосфат» и внутренних вскрышных пород, образовавшихся при добыче бурых углей Ленгерского месторождения Толебийского района Южно-Казахстанской области. Верхняя часть опытного участка автомобильной дороги построена из конусообразной монолитной плиты.

После подготовки участка производилась закладка боковых стенок коробки из тощего бетона, высота которой составляет 0,6 м, а толщина 0,15 м, по всему периметру траншеи. Боковые стенки из тощего бетона подвергались твердению и сушке при естественных климатических условиях. После твердения и сушки боковых стенок из тощего бетона, производилась послойная отсыпка земляного полотна слоем 20 - 25 см, с использованием суглинки, супеси, отходов фосфорного и угледобывающего производства и разравнивание автогрейдерами. При необходимости можно увеличить насыпь земляного полотна и его толщину. Уплотнение подстилающего слоя до значения $K_{уп} = 0,95$ выполнялось при помощи уплотняющего катка. Поверх подстилающего слоя укладывался слой песка, служащий дренающим слоем дорожной одежды. После устройства подстилающего слоя автомобильной дороги из смеси шихтовых материалов и песка, поверх них была установлена железобетонная плита из остроконечных конусообразных элементов. Поверх плиты покрытия было установлено асфальтобетонное покрытие из горячей мелкозернистой асфальтобетонной смеси на вязком битуме БНД 60/90.

В коробке дорожной одежды в верхней стороне оставлена ниша размерами 15×15 см для изъятия проб земляного полотна. Изъятая проба применяется для определения плотности и влажностных характеристик в момент эксплуатации дороги.

Таким образом, был построен опытно-промышленный участок дорожной одежды коробчатого типа на автомобильной дороге с применением отходов фосфорного производства и ВВП угледобычи. Опытный участок насыпи автомобильной дороги подвергался осенне-весеннему дождеванию и зимнему сезонному промерзанию.

Результаты

Земляное полотно из отходов фосфорной промышленности подвергалось осенне-весеннему влагонакоплению и промерзанию. Основная цель мониторинга – влагонакопление и промерзание земляного полотна. Экспериментальные исследования проводились в три этапа: осеннее - влагонакопление, зимнее - промерзание и весеннее-пучинообразование после промерзания.

Первый этап. Изъятие и исследование проб земляного полотна автомобильной дороги коробчатого типа проводилось в осенний период 2016 г. Были определены плотность и весовая влажность грунта.

Второй этап. Изъятие и исследование проб земляного полотна автомобильной дороги коробчатого типа проводилось в зимний период начала 2017 г. Были определены плотность и весовая влажность грунта.

Третий этап. Изъятие и исследование проб земляного полотна автомобильной дороги коробчатого типа проводилось в весенний период 2017 г. Были определены плотность и весовая влажность грунта.

Таким образом, осуществлялось моделирование дорожной одежды коробчатого типа. На опытном участке установлены многозонные цифровые датчики температуры МЦДТ 0922 (термокосы), которые регистрируют изменение температуры грунта как по высоте, так и по ширине насыпи автомобильной дороги. Кроме того, осуществлялось наблюдение водно-теплового баланса за опытным участком автомобильной дороги по температурным режимам земляного полотна из супеси, суглинка, ВВП угледобычи и фосфогипса при его промерзании. В соответствии с рисунком 2 показана схема установки датчиков температуры (термокосы).

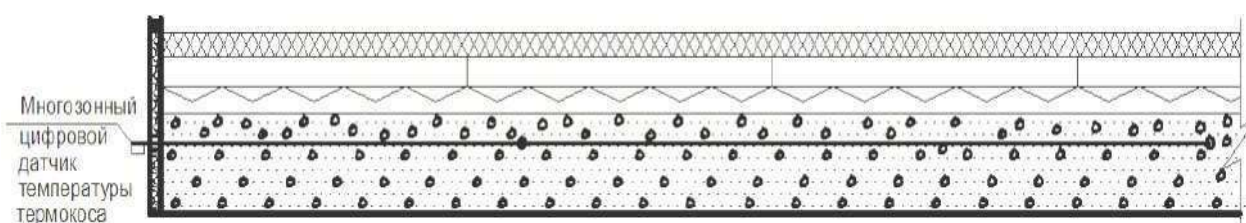


Рисунок 2 - Схема расположения датчиков (термокосы) в теле земляного полотна автомобильной дороги

Результаты исследований значений коэффициента теплопроводности подстилающего слоя дорожной одежды коробчатого типа, состоящей из суглинка, супеси, ВВП отходов угледобычи и фосфогипса приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Коэффициент теплопроводности в подстилающем слое

Влажность подстилающего слоя, W, д. ед.	Относительная влажность подстилающего слоя, W, д. ед.	Коэффициент теплопроводности подстилающего слоя λ , Вт/(м·К)					
		1	2	3	4	5	6
при насыпной плотности в талом состоянии							
0,03	0,055	0,15	0,13	0,18	0,16	0,18	0,17
0,18	0,30	0,27	0,21	0,23	0,27	0,29	0,23
0,26	0,48	0,38	0,39	0,31	0,4	0,36	0,4
0,55	0,86	0,69	0,71	0,66	0,68	0,7	0,68
при максимальной плотности ($K_{упл}=1,0$) в талом состоянии							
0,03	0,055	0,21	0,2	0,23	0,2	0,32	0,31
0,18	0,30	0,55	0,49	0,53	0,5	0,53	0,56
0,26	0,48	0,71	0,69	0,78	0,7	0,81	0,76
0,55	0,86	1,41	1,33	1,41	1,36	1,29	1,33
при максимальной плотности ($K_{упл}=1,0$) в мерзлом состоянии							
0,06	0,06	0,41	0,43	0,38	0,29	0,38	0,40
0,33	0,48	0,92	0,88	0,89	0,93	0,85	0,83
0,51	0,68	1,21	1,37	1,25	1,25	1,29	1,31
0,62	0,75	1,53	1,60	1,62	1,56	1,55	1,51

Хорошая теплопроводность приготовленной смеси способствует существенно снизить или даже предотвратить промерзание грунтовой массы дорожного полотна автомобильной дороги. Снижение и предотвращение промерзания земляного полотна автомобильной дороги приводит к уменьшению влагонакопления и морозного пучения в осенне-зимнее время. Низкий показатель влажности в весенний период способствует более высокой несущей способности земляного полотна автомобильной дороги.

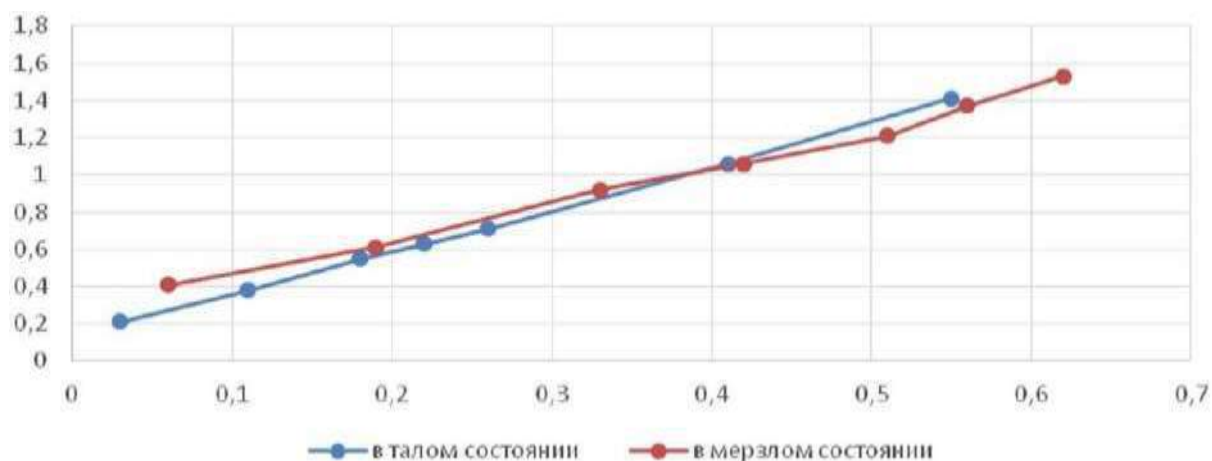


Рисунок 3 - Коэффициент теплопроводности в подстилающем слое земляного полотна автомобильной дороги

Результаты и Обсуждение

По результатам исследований коэффициента теплопроводности подстилающего слоя из смеси суглинка, супеси, ВВП угледобычи и фосфогипса можно сделать следующий вывод: по теплофизическим свойствам подстилающий слой для сооружения земляного полотна автомобильной дороги имеет высокую пригодность.

Коэффициент фильтрации, водопроницаемость грунтов оцениваются коэффициентом влагопроводности K_w . Именно коэффициент влагопроводности грунта влияет на его пучинообразование в подстилающем слое.

В процессе испытаний подстилающего слоя земляного полотна автомобильной дороги, получили значения коэффициента влагопроводности при начальной влажности и плотности подстилающего слоя за время достижения участком увлажнения верхней поверхности образца при его увлажнении снизу (глубинные воды) и с боку (атмосферные осадки). Испытания проводились на образцах подстилающего слоя из суглинка, супеси, ВВП угледобычи и фосфогипса отобранных в специальных формах при оптимальной влажности $W_{opt} = 0,30$ и коэффициенте уплотнения $K_{упл} = 1,0$. Значение коэффициента влагопроводности определялось по формуле:

$$K_w = \frac{4}{3,14 d d^4 \tau \tau} \left[\frac{m_b}{\rho_c (W_{пв} - W_{Н})} \right]^2 \quad (1)$$

d - диаметр грунтового образца, см;

τ - время увлажнения, ч;

m_b - масса впитавшейся воды, г;

ρ_c - плотность частиц грунта, г/см³;

W_H - влажность испытуемого образца, д.ед.

Результаты испытаний коэффициента влагопроводности K_w подстилающего слоя из суглинка, супеси, ВВП угледобычи и фосфогипса приведены в таблице 2.

Анализируя результаты испытаний подстилающего слоя, можно отметить следующее: данные значения коэффициентов влагопроводности K_w подстилающего слоя из суглинка, супеси, ВВП угледобычи и фосфогипса могут кардинально изменяться в зависимости от коэффициента уплотнения и начальной влажности смеси.

Исследование показало, что изменение влажности грунта в осенний, зимний и весенний периоды в теле грунта земляного полотна исследуемого участка незначительны.

Таблица 2 - Коэффициент влагопроводности подстилающего слоя

№ образца	Масса впитавшей воды m_b , гр	Время увлажнения τ , ч.	Коэффициент влагопроводности K_w , см ² /ч.	Коэффициент влагопроводности K_w , см ² /сут.	Среднее значение коэффициента влагопроводности K_w см ² /сут.
1	38	0,095	101,5	2436	2586,4
2	41	0,086	112,8	2707,2	
3	32	0,097	111,3	2671,2	
4	36	0,088	106,5	2630,4	
5	40	0,097	100,6	2625,6	
6	43	0,092	102,0	2448	

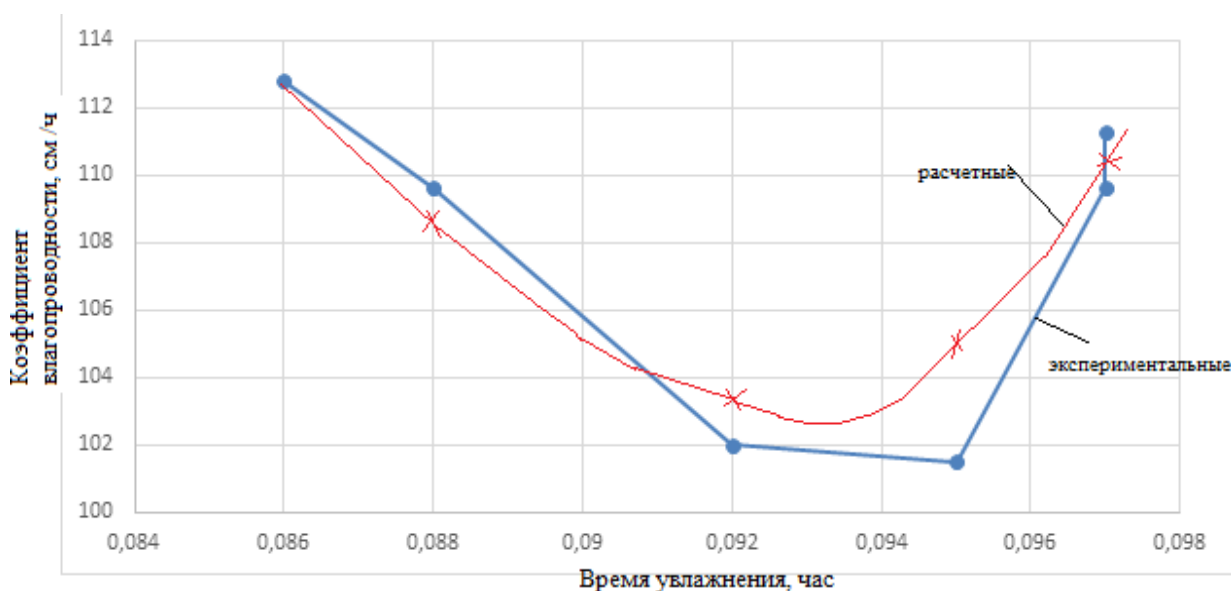


Рисунок 4 - Зависимость коэффициента влагопроводности

В процессе мониторинга увлажнения опытного участка автомобильной дороги из коробчатого типа, параллельно проводилось наблюдение за величиной морозного пучения поверхности дорожной одежды методом нивелирования.

Нивелирование отметок поверхности дорожной одежды в зимний период проводим по 5 точкам (по ширине земляного полотна), по четырем углам и по центру конструкции дорожного полотна. Результаты наблюдения за пучинообразованием высотных отметок дорожной одежды методом нивелирования в зимний период с декабря по февраль 2016-2017гг. занесены в таблицу 3.

Таблица 3 - Изменение отметок поверхности дорожного покрытия

№ точек (расстояние)	Превышение отметок дорожного полотна, м		
	декабрь	январь	февраль
1 (0-3м)	0,001	0,002	0,002
2 (3-6м)	0,000	0,001	0,001
3 (6-9м)	0,001	0,003	0,002
4 (9-12м)	0,002	0,003	0,002
5 (12-15м)	0,000	0,001	0,001

Результаты экспериментальных исследований по определению влажности грунта и морозного пучения земляного полотна подтверждают, что подстилающий слой дорожного полотна разработанный из шихтовой смеси фосфогипса и внутренних вскрышных пород угледобычи, а также бетонная коробка из отходов электротермофосфорного шлака снижают влагонакопление от притока воды в осенне-весенние периоды, что исключает пучинообразование в основном слое дорожного покрытия и появление выбоин и трещин, нарушающих целостность автомобильной трассы. Это приводит к улучшению безопасности жизнедеятельности за счет снижения аварий. Построенная бетонная коробка из отходов электротермофосфорного шлака по периметру земляного полотна и устроенная в траншеях, не приводит к влагонакоплению, то есть к свободному и постоянному притоку воды в осенне-весенний период в нижних слоях дорожного полотна. Таким образом, при отсутствии влагонакопления в земляном полотне, устроенном из смеси фосфогипса с ВВП угледобычи, увлажнение в осенне-весенний период и пучинообразование в зимний период земляного полотна невозможны.

Заключение

Построена модель опытного участка автомобильной дороги с дорожной одеждой коробчатого типа, для определения процессов летнего высыхания, осенне-весеннего увлажнения и промерзания внутри коробки дорожного полотна с сохранением водно-теплового баланса в массе подстилающего слоя. Смесь состоит из отходов ВВП угледобывающей промышленности и фосфогипса, образующего в производстве минеральных удобрений. Технология укладки дорожной одежды коробчатого типа автомобильных трасс следующая: производится закладка нижнего подстилающего слоя из супеси, суглинка, внутренних вскрышных пород и фосфогипса, далее коробка тощего бетона из готовых смесей, которая подвергается твердению и сушке при естественных климатических условиях. Затем туда укладывается литой и гранулированный электротермофосфорный шлак в заданных количествах. Измельчение электротермофосфорного шлака обусловлено тем, что он имеет оплавленную округлую форму, что снижает эффект сцепления вяжущего материал-цемент. Это позволяет повысить прочность и устойчивость стенок коробки дорожной одежды из тощего тонкослойного бетона, толщиной 15-20 мм, создает стабилизацию водно-теплового баланса и сохраняет целостность полотна автомобильной трассы в осенне-зимне-весенние периоды за счет снижения влагонакопления и пучинообразования, а также исключает появление выбоин.

Эколого-экономическое преимущество применения разрабатываемого мероприятия заключается в использовании при строительстве автомобильных дорог не природных материалов, в виде суглинка, песка и гравия, а отходов предприятий фосфорной подотрасли химической промышленности в виде фосфогипса, электротермофосфорного шлака гранулированного и кускового, мелкораздробленного и отсортированного на определенные фракции, а также отходов угледобывающей отрасли в виде вскрышных пород.

Ожидаемый экономический эффект от применения материала ЖД-70, в сравнении с классическим материалом покрытия ШМА-20 на 1 км автомобильной дороги III технической категории с общей стоимостью строительства 39 273 млн. тенге, составит 9,223 млн. тенге. Снижение стоимости на 1 погонный км автомобильной дороги составляет 8,46%. Проведено сравнение объемного количества применяемых отходов фосфорной и угледобывающей промышленности с природными материалами. Установлено, что использование техногенных отходов фосфорного производства и угледобывающей отрасли позволит снизить в 1,4 раза применение природных сырьевых материалов для дорожного строительства и улучшить экологическую обстановку промышленных регионов, с сохранением ландшафта местности.

Технико-экономическими расчетами выявлена не только экономическая, но и экологическая эффективность предлагаемой технологии от применения техногенных отходов различных производств. Выявлено, что при прокладке пригородных автомобильных дорог применения техногенных отходов различных производств, позволяет снижение себестоимости строительства автомобильной трассы пригородного назначения до 8,46 %

Список литературы

1. Досалиев К.С., Жакипбаев Б.Е. Строительство автомобильных дорог: дорожная одежда коробчатого типа. Монография. - Алматы: Издательство ТОО «Adal Kitap», 2023. - 195 с. (ISBN 978-601-7681-58-6) - **монография**

Сведения об авторах (на трех языках):

Жакипбаев Бибол Ермуратұлы - PhD, қауымдастырылған профессор, Инженерлік-технологиялық хабтың бас ғылыми қызметкері, академик А. Қуатбеков атындағы Халықтар

достығы университетінің «Мұнай және құрылыс өндірісі» кафедрасының профессоры, Шымкент, Қазақстан, bibol.ye.zhakipbayev@mail.ru

Жакипбаев Бибол Ермуратович - PhD, ассоциированный профессор, главный научный сотрудник Инженерно-технологического хаба, профессор кафедры «Нефтяное и строительное производство» Университета дружбы народов имени академика А. Куатбекова, Шымкент, Казахстан, bibol.ye.zhakipbayev@mail.ru

Zhakipbayev Bibol Yermuratovich - PhD, Associate Professor, Chief Researcher of the Engineering and Technology Hub, Professor of the Department of «Oil and Construction Production» at the Academician A. Kuatbekov University of Peoples' Friendship, Shymkent, Kazakhstan, bibol.ye.zhakipbayev@mail.ru

Досалиев Қанат Серікұлы - PhD, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университетінің «Өнеркәсіптік, азаматтық және жол құрылысы» кафедрасының меңгерушісі, Шымкент, Қазақстан.

Досалиев Канат Серикович - PhD, заведующий кафедрой «Промышленное, гражданское и дорожное строительство» Южно-Казakhstanского университета имени М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан.

Dosaliev Kanat Serikovich - PhD, head of the Department of «Industrial, Civil and Road Construction» at M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan.

Вклад авторов:

Жакипбаев Б.Е. - разработка методологии исследования, анализ экспериментальных данных, подготовка текстовой части статьи, интерпретация теплотехнических и гидрологических характеристик дорожной одежды.

Досалиев Қ.С. - организация опытно-промышленного участка, проведение экспериментальных исследований, сбор и обработка данных по водно-тепловому режиму и пучинообразованию, участие в подготовке графиков и таблиц. Совместно авторы подготовили выводы и рекомендации по практическому применению предложенной технологии.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

**«ТОПЫРАҚ НЕГІЗІ - АСФАЛЬТБЕТОН» АВТОЖОЛ ЖҮЙЕСІНІҢ
ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІНІҢ ЖОЛ ҚОЗҒАЛЫСЫНЫҢ
ҚАУІПСІЗДІГІН, ҮНЕМДІЛІГІН ЖӘНЕ ЭКОЛОГИЯЛЫЛЫҒЫН АРТТЫРУДАҒЫ
ПРАКТИКАЛЫҚ ӘСЕРІ**

Б.Е. Жақыпбаев^{1*}, Қ.С. Досалиев²

¹PhD, қауымдастырылған профессор, Инженерлік-технологиялық хабтың бас ғылыми қызметкері, «Мұнай және құрылыс өндірісі» кафедрасының профессоры
Мекеме: «Академик А. Қуатбеков атындағы Халықаралық достық университеті»,
Шымкент, Қазақстан

*Хат алушы автор: bibol.ye.zhakipbayev@mail.ru

Андатпа. Әр түрлі өндірістердің техногендік қалдықтарын қолдана отырып, жер төсемін тығыздау және жол киімін жабу әдістерін жетілдіру басым бағыттардың бірі болып табылады. Бұл құрылымның су-жылу режимін тұрақтандыру есебінен, қозғалысты шектемей және жол төсемінің балласт ойықтарын жоюсыз пайдаланылатын инженерлік

құрылысты жобалауға және нығайтуға, жергілікті жердің ландшафтын сақтай отырып, табиғи ресурстарды ұтымды пайдалануға мүмкіндік береді. Шешілетін мәселелерді практикалық қолдану әртүрлі өндірістердің қайталама материалдық-шикізат ресурстары мен қалдықтарын кешенді және ұтымды пайдалануды талап етеді. Қазіргі уақытта оларды пайдалану үлесі шикізат көлеміндегі 25-30 % жалпы көрсеткіштегі есептік мәндердің орнына шамамен 3-5 % құрайды. Сондықтан, индустриялық-инновациялық даму кезеңінде автомобиль жолдарының астыңғы қабаты мен төсемінің сапасын жақсартып отырып, әртүрлі салалардың қалдықтарын ұтымды және кешенді пайдалану мәселелері маңызды практикалық маңызға ие. Мақалада 37-50 ПК-дан 37-65 ПК-ға дейінгі А-1 автокөлік жолының учаскесінде қорап түріндегі жол киімдерінің тәжірибелік сегментін зерттеудің кестелері мен тәжірибелік деректері келтірілген. Сздақ, құмды саз, көмір өндіру және фосфогипс қоспасынан жасалған астыңғы қабаттың жылу өткізгіштік коэффициентін зерттеу нәтижелері бойынша мынадай қорытынды жасауға болады: жылу-физикалық қасиеттеріне сәйкес автокөлік жолының жер төсемін салу үшін астыңғы қабаттың жарамдылығы жоғары.

Түйін сөздер: қорап түріндегі жол киімі, «жер жамылғысы – асфальтбетон» автожол жүйесі, өнеркәсіптік кәсіпорындардың қалдықтарынан жасалған астыңғы қабат: террикондар, фосфогипс, түйіршіктелген және құйылған электротермофосфор қожы.

PRACTICAL IMPACT OF THE «SOIL SUBGRADE - ASPHALT CONCRETE» ROAD SYSTEM STRUCTURE ON ENHANCING TRAFFIC SAFETY, COST EFFICIENCY, AND ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY DURING OPERATION

B.E. Zhakipbayev^{1*}, K.S. Dosaliev²

¹PhD, Associate Professor, Chief Researcher of the Engineering and Technology Hub, Professor of the Department of «Oil and Construction Production»
Institution: «Academician A. Kuatbekov University of People's Friendship», Shymkent, Kazakhstan

²PhD, Head of the Department of «Industrial, Civil and Road Construction»
Institution: M. Auezov South Kazakhstan Public University, Shymkent, Kazakhstan

Abstract. One of the priority areas is the improvement of methods for compacting the subgrade and pavement coating, using man-made waste from various industries. This allows for the design and strengthening of an operating engineering structure by stabilizing the water-thermal regime of the structure, without restricting movement and eliminating ballast depressions in the roadway, rationally using natural resources, while preserving the landscape of the area. The practical application of the issues being resolved requires the comprehensive and rational use of secondary material and raw materials and waste from various industries. To date, the share of their use is about 3-5 %, instead of the calculated values in the general indicator of 25-30 % in the volume of raw materials. Therefore, during the period of industrial-innovative development, issues of rational and integrated use of waste from various industries, with improving the quality of the underlying layer and road surface, are of great practical importance. The article presents graphs and experimental data from a study of an experimental section of box-type road pavement on the section of the А-1 highway from PC 37-50 to PC 37-65. Based on the results of studies of the thermal conductivity coefficient of the underlying layer from a mixture of loam, sandy loam, coal mining and phosphogypsum, the following conclusion can be drawn: in terms of thermophysical properties, the underlying layer for the construction of a highway subgrade is highly suitable.

Key words: box-type road pavement, road system «earthen surface – asphalt concrete», underlying layer from industrial waste: waste heaps, phosphogypsum, granulated and cast electrothermophosphorus slag.



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/>).



<https://doi.org/10.71031/qhsi.2025.v1.i4.008>

ВЫСОКОПРОЧНЫЙ И МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЙ БЕТОН НА ОСНОВЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

Абдрасилов Д.Л.¹, Дюсембинов Д.С.^{1*}

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

*Корреспондент автор: dusembinov@mail.ru

Аннотация. В статье представлен обзор применения высокопрочного и модифицированного бетона с использованием промышленных и энергетических отходов в гидротехнических сооружениях. Рассмотрены современные подходы к повышению долговечности плотин, шлюзов, причальных стенок и портовых конструкций в условиях агрессивного воздействия морской воды, абразивного износа, сульфатной коррозии и циклов замораживания–оттаивания. Проанализированы международные проекты (Port of Rotterdam, Maasvlakte 2, Tuas Mega Port, Панамский канал, Kinzua Dam), показано, что применение добавок, таких как гранулированный доменный шлак, микрокремнезём и зола-унос, позволяет существенно увеличить эксплуатационный ресурс конструкций, снизить потери прочности и уменьшить углеродный след строительства. Сделан вывод о стратегической важности интеграции техногенных минеральных добавок в технологии высокопрочного гидробетона для повышения надежности и устойчивости гидротехнических объектов.

Ключевые слова: гидротехнические сооружения, высокопрочный бетон, модифицированный бетон, промышленные отходы, гранулированный доменный шлак (GGBS), микрокремнезём (SF), долговечность, сульфатная коррозия, абразивно-эрозионная стойкость, морозостойкость.

Введение

Долговечность гидротехнических сооружений - ключевой фактор их безопасности, экономической эффективности и экологической устойчивости. Плотины, шлюзы, причальные стенки и другие объекты, работающие в условиях переменного уровня воды, интенсивного течения, ледовых и абразивных воздействий, подвергаются сложному комплексу деградационных процессов: сульфатной коррозии, циклам замораживания–оттаивания, абразивно-эрозионному износу, кавитационным повреждениям. Повышение устойчивости конструкционного бетона к этим воздействиям - одна из приоритетных задач современной гидротехнической инженерии.



Рисунок 1 - Общий вид плотины Three Gorges Dam, иллюстрирующий крупный масштаб сооружения и применение бетонных масс высокого качества (источник: Wikimedia Commons)

За последние десятилетия в мировой практике всё более широкое распространение получает применение промышленных и энергетических техногенных отходов в качестве минеральных добавок и модифицирующих компонентов в высокопрочном бетоне. К таким материалам относятся зола-унос, микрокремнезём, гранулированный доменный шлак, метакраолин и комплексные системы на их основе. Их использование позволяет не только улучшить эксплуатационные характеристики бетона, но и существенно снизить углеродный след строительства за счёт уменьшения доли портландцемента, одновременно вовлекая отходы в хозяйственный оборот.

Опыт зарубежных проектов показывает, что правильно подобранные составы высокопрочного и модифицированного бетона способны обеспечивать десятилетия стабильной работы конструкций без существенных признаков деградации даже в экстремальных средах. Крупные гидроузлы и портовые сооружения в США, Канаде, Норвегии, Китае и ряде других стран демонстрируют успешные примеры применения таких материалов, что подтверждается результатами длительных мониторинговых исследований.

Настоящий обзор систематизирует опыт использования промышленных отходов в составе высокопрочного гидротехнического бетона, с акцентом на устойчивость к сульфатной коррозии, морозостойкость и абразивно-эрозионную стойкость. Особое внимание уделено анализу реальных международных проектов (плотин, ГЭС, портов, шлюзов), описанию применённых технологических решений, а также оценке фактического ресурса и эксплуатационного состояния конструкций.

Методология

Для анализа использовались данные о гидротехнических объектах (плотины, шлюзы, портовые сооружения) и методики:

- состав бетона с различными минеральными добавками (зола-унос, микрокремнезём, гранулированный доменный шлак, метакраолин);

- параметры водоцементного отношения, пористости и плотности;
- полевые обследования, лабораторные испытания (ASTM C1202, ASTM C1138, RCPT), долговечностное моделирование;
- анализ микроструктуры бетона методом сканирующей электронной микроскопии (SEM);
- оценка ресурса конструкций и мониторинг состояния гидротехнических объектов.

Таблица 1 - Примеры применения высокопрочного и модифицированного бетона в гидротехнических сооружениях и расчетный срок службы

Объект/ страна	Основное воздействие	Решение (состав/ материалы)	Ключевой критерий / тест	Ресурс (заданный или фактический)
Портовые сооружения (NL, Port of Rotterdam)	Морская вода, хлориды, абразив от волн	СЕМ III/A-B (GGBS 36-70 %), низкий w/b, низкая проницаемость	Расчёт по миграции хлоридов (STADIUM®), полевые обследования	50-100+ лет (обследовано 18-41 год, деградация минимальна)
Maasvlakte 2 (Нидерланды)	Морская вода, волновое воздействие	НРС с СЕМ III, массивные блоки, конструктивная защита	Конструктивный + материал, оценка по модели срока службы	Проект на ≥ 100 лет
Tuas Mega Port (Сингапур)	Морская вода, хлориды, тропический климат	ОПС + 50-70% GGBS, низкий w/b	Проектные расчёты по долговечности, испытания RCP	≥ 100 лет (по расчётам)
Панамский канал – Третий комплект шлюзов	Морская вода, хлориды	ОПС + FA/GGBS, w/cm ≤ 0.40 , RCP \leq 1000 Кл	ASTM C1202, расчёт срока службы	100 лет (требование АСР)
Kinzua Dam (США)	Абразивная эрозия, наносы	НРС с 7-10 % SF, ремонтные составы	ASTM C1138 (снижение износа)	Увеличение межремонтного периода в 2-3 раза

Результаты и обсуждение

Мировая практика показывает, что применение высокопрочных и модифицированных бетонов с использованием промышленных техногенных отходов в гидротехнических сооружениях позволяет значительно повысить устойчивость конструкций к агрессивным воздействиям, продлить срок службы и снизить эксплуатационные затраты. Ниже приведены наиболее показательные международные примеры.

В гидротехнических сооружениях порта Роттердам (причалы, волноломы, набережные), эксплуатируемых в условиях интенсивного воздействия морской воды, судового трафика и абразивных наносов, был применён портландшлаковый цемент СЕМ III/A-B с содержанием гранулированного доменного шлака 36-70 %. Такая вяжущая система в сочетании с низким водоцементным отношением (0,40-0,45) и оптимизированным составом смеси позволила обеспечить крайне низкую проницаемость бетона и высокую

устойчивость к хлоридной коррозии, сульфатной агрессии и абразивному износу. Полевые обследования конструкций, находящихся в эксплуатации 18-41 год, показали минимальные признаки деградации: отсутствие существенных трещин, минимальная потеря прочности и отсутствие коррозии арматуры. По результатам долговечностного моделирования подтверждён расчётный срок службы сооружений не менее 50–100 лет без капитального ремонт[1].

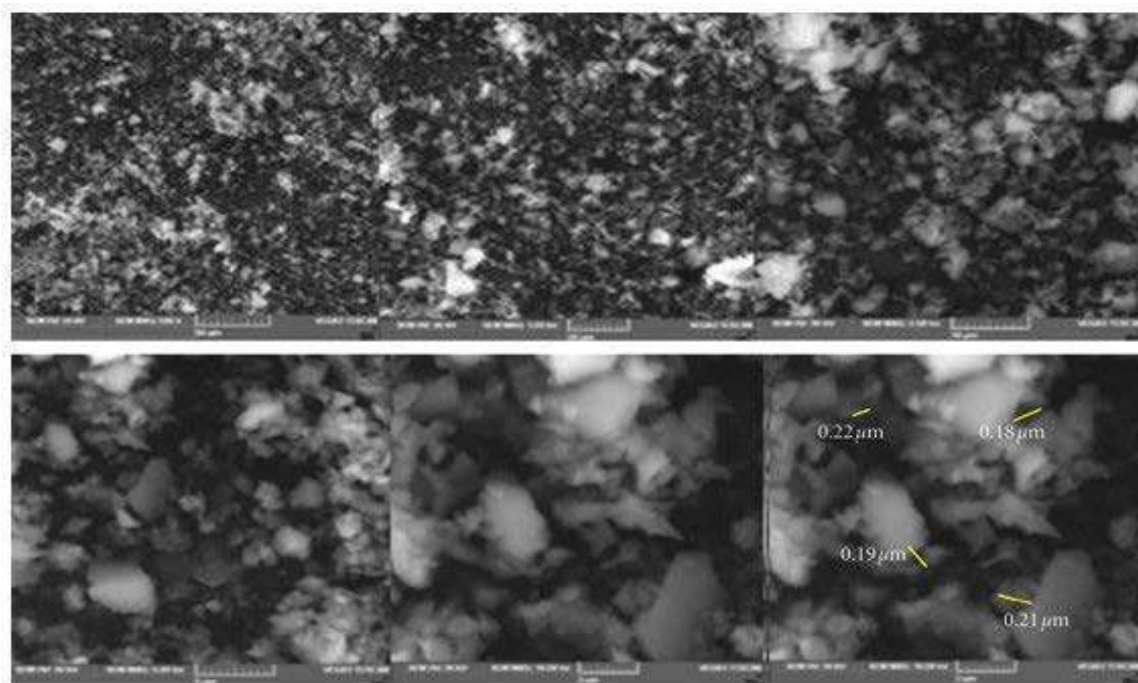


Рисунок 2 - Микроструктура бетона с добавкой микрокремнезёма (SF), полученная методом сканирующей электронной микроскопии (SEM); увеличенная плотность матрицы и тонкопористая структура подчёркивают потенциал для повышения долговечности (по данным исследования)

При расширении порта Роттердам (Maasvlakte 2, 2008-2013) были построены волноломы, причальные стенки и другие гидротехнические элементы с использованием высокопрочных бетонных конструкций на базе шлакоцемента СЕМ III, характеризующегося низкой проницаемостью и значительным сокращением тепловыделения при твердении — что критично при масштабных заливках в морской среде. Хотя прямые данные о сроке службы отсутствуют, проект инженерного класса предусматривал ресурс конструкции по долговечности не менее 100 лет. Это стало возможным благодаря применению шлакоцементных смесей, обеспечивающих повышенную устойчивость к хлоридному проникновению, сульфатной агрессии и абразивным нагрузкам в условиях непрерывной эксплуатации крупной портовой инфраструктуры [2].

В рамках проекта Tuas Mega Port (Фаза 1, Сингапур) для создания причальных конструкций применялись крупные жёсткие бетонные каиссоны, изготовленные по технологии СЕМ-based смесей с высоким процентом GGBS и/или CO₂-минерализованного бетона, что обеспечивает повышенную долговечность, устойчивость к морской среде и снижает углеродный след. Для Phase 1 было отлито и установлено 221 каиссон размером примерно 28 м × 28 м × 40 м, весом до 15 000 т каждый, образующих 8,6 км набережного фронта; технология многократно применялась для ускорения и повышения качества работ [3]. Проект рассчитан на эксплуатацию в течение ≥ 100 лет, учитывая автоматизацию, контроль качества бетона и инновационные методы защиты (например, силианирование поверхности) [3].

В проекте расширения Панамского канала (Third Set of Locks), где бетонные конструкции эксплуатируются в агрессивной морской среде и подвергаются нагрузкам от колебаний напряжённости и перепадов температур, применён специализированный Structural Marine Concrete (SMC) и Interior Mass Concrete (IMC). Состав включает портландцемент в сочетании с пуццолановыми добавками (fly ash и/или гранулированный доменный шлак - GGBS), а также строгий контроль параметров: максимальный $w/(\text{cementitious materials}) \leq 0,40$, максимальная проницаемость по RCPT ≤ 1000 Кл, и проектный срок службы - 100 лет. Такие требования позволили обеспечить очень высокую долговечность бетона при масштабных объёмах (около 4,3 млн м³) и избежать термического растрескивания благодаря контролю тепловыделения и грамотной дозировке [4].

В зоне бассейна гашения гидроузла Kinzua Dam (река Allegheny, Пенсильвания) в 1973–1974 гг. был выполнен ремонт абразивно-эрозионно повреждённого бетона применением высокопрочного бетона с микрокремнезёмом (silica fume, SF). В 1983 году был проведён лабораторный отбор смесей с SF и известняковым заполнителем, которые демонстрировали высокую абразионную стойкость при приемлемой стоимости. Были выполнены испытания полноразмерных укладок для подтверждения технологической реализуемости: бетоны обеспечивали прочность ≥ 86 МПа (12500 psi) к 28 сут, а реальный 28-сут прочностной результат превысил 90 МПа (13000 psi) [5]. Контроль после эксплуатации (на протяжении одного года, включая сезон с крупным мусором) показал, что SF-бетон «работает как и ожидается», без существенного износа. Более долгосрочные данные (до 10,5 лет) подтверждают, что износ составляет лишь малую долю по сравнению с ранее применявшимися составами - износ при абразионном воздействии оставался минимальным, а участка гидравлического удара (sluice) - без признаков кавитационного повреждения [6].

Заключение

Анализ зарубежного опыта применения промышленных и энергетических отходов в составе высокопрочного и модифицированного гидротехнического бетона подтверждает высокую эффективность таких решений при эксплуатации в агрессивных средах. Использование золы-уноса, микрокремнезёма, гранулированного доменного шлака и других минеральных добавок обеспечивает значительное повышение устойчивости бетона к сульфатной коррозии, многократным циклам замораживания-оттаивания и абразивно-эрозионному износу.

Рассмотренные примеры международных проектов - от гидроэлектростанций в Канаде до портовых сооружений Норвегии и Китая - демонстрируют, что грамотная модификация состава бетона позволяет достигать эксплуатационного ресурса свыше 50 лет без необходимости капитального ремонта при минимальных потерях прочности и целостности структуры. При этом достигается не только повышение долговечности и надёжности конструкций, но и существенное сокращение углеродного следа строительства за счёт снижения доли клинкерного цемента.

В условиях роста климатических рисков, увеличения интенсивности гидродинамических и абразивных нагрузок, а также глобальной задачи по сокращению выбросов CO₂, интеграция техногенных минеральных добавок в технологии высокопрочного гидробетона представляется стратегически важным направлением развития отрасли. Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку комплексных многокомпонентных систем модифицирования, оценку их поведения в условиях комбинированных агрессивных воздействий и создание международных баз данных по долговечности таких бетонов в реальных эксплуатационных условиях.

Список литературы

1. Polder R. B., de Rooij M. R. Durability of marine concrete structures - field investigations and modelling (Structures aged 18-41 years along North Sea coast) // *Heron*. - 2005. - Vol. 50, № 3. - Pp. 145-162. - **журнал на англ. языке**
2. Maasvlakte 2 Rotterdam: nieuw land voor uitbreiding Rotterdamse haven! © Boskalis Nederland. 2008-2013. (Описание проекта: объём новых территорий, волноломов, причалов, включая применение бетона и шлаковых конструкций) - **электронный ресурс**
3. Size matters: inside the Tuas Mega Port project, Singapore // *Ship Technology Global*. - May 2021. - Issue 76. (О применении крупных бетонных кассонов, автоматизация, инновации в технологии строительства) [Источник: *Ship Technology Global*] - **журнал на англ. языке**
4. Panama Canal expansion – the third set of locks project. Panama Canal Authority; Scutti America. 2011-2014. Режим доступа: описание контроля прочности, состава бетонных смесей и расчетного срока службы сооружений - 100 лет // *Scutti America*. - URL: scuttiamerica.com (дата обращения: 13.08.2025) - **электронный ресурс**
5. Holland T. C., Krysa A., Luther M. D., Liu T. C. Use of Silica-Fume Concrete to Repair Abrasion-Erosion Damage in the Kinzua Dam Stilling Basin // *Proceedings of CANMET/ACI Second International Conference on the Use of Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, Madrid, Spain, 1986*. Vol. 2. Pp. 841-864. - **материалы конференций на англ. языке**
6. Luther M. D., Halczak W. Long-Term Performance of Silica Fume Concretes in the USA Exposed to Abrasion-Erosion or Cavitation - With 10-Year Results for Kinzua Dam and Los Angeles River // *Proceedings of CANMET/ACI Fifth International Conference on the Use of Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, Milwaukee, 1995*. Vol. 2. Pp. 863–884. - **материалы конференций на англ. языке**

Сведения об авторах (на трех языках):

Абдрасилов Дулат Лесбекулы - т.ғ. магистрі, аға оқытушы, «Өнеркәсіптік және азаматтық құрылыс технологиясы» кафедрасы, КЕАҚ «Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті», Астана, Қазақстан, d.abdrasilov@mail.ru

Абдрасилов Дулат Лесбекулы - магистр т.н., старший преподаватель, «Технология промышленного и гражданского строительства», НАО «Евразийский Национальный университет им. Л.Н. Гумилёва», Астана, Казахстан, d.abdrasilov@mail.ru

Abdrasilov Dulat Lesbekuly - master of Technical Sciences, Senior Lecture, Department of Industrial and Civil Construction Technology, NJSC «L.N. Gumilyov Eurasian National University», Astana, Kazakhstan, d.abdrasilov@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:

Дюсембинов Д.С. - разработка концепции исследования, анализ литературы и зарубежного опыта, подготовка методологической части.

Абдрасилов Д.Л. - сбор и систематизация данных по международным проектам, анализ результатов испытаний и долговечности бетона.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

ЖОҒАРЫ БЕРІКТІК ЖӘНЕ МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН ГИДРОТЕХНИКАЛЫҚ БЕТОН ӨНЕРКӘСІП ҚАЛДЫҚТАРЫНЫҢ НЕГІЗІНДЕ

Абдрасилов Д.Л.¹, Дюсембинов Д.С.^{1*}

¹КЕАҚ «Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия университеті», Астана, Қазақстан

*Хат алмасушы автор: dusembinov@mail.ru

Аннотация. Мақалада гидротехникалық нысандарда өнеркәсіптік және энергетикалық қалдықтарды қолдану арқылы жоғары беріктік және модификацияланған бетонның қолданылуы қарастырылады. Су деңгейінің ауытқуы, абразиялық тозу, сульфаттық коррозия және мұздан еріту–мұздату циклдары әсер ететін жағдайларда бөгеттердің, шлюздердің, кеме причалдарының және порттық құрылыстардың беріктігін арттырудың заманауи тәсілдері қарастырылған. Халықаралық жобалар (Port of Rotterdam, Maasvlakte 2, Tuas Mega Port, Панамалық канал, Kinzua Dam) талданып, гранулирленген шлак, кремнезем және ұшпа күл сияқты қоспаларды қолдану конструкциялардың қызмет мерзімін едәуір арттыруға, беріктік жоғалуын азайтуға және құрылыс көмірқышқыл газ шығарындыларын төмендетуге мүмкіндік беретіні көрсетілген. Жоғары беріктік гидробетон технологияларына техногендік минералдық қоспаларды енгізудің стратегиялық маңыздылығы анықталған.

Түйінді сөздер: гидротехникалық нысандар, жоғары беріктік бетон, модификацияланған бетон, өнеркәсіптік қалдықтар, гранулирленген домендік шлак (GGBS), кремнезем (SF), беріктілік, сульфаттық коррозия, абразивті-эрозиялық төзімділік, мұзға төзімділік.

HIGH-STRENGTH AND MODIFIED HYDRAULIC CONCRETE BASED ON INDUSTRIAL WASTE

Abdrasilov D. L.¹, Dyusembinov D.S.^{1*}

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

*Corresponding author: dusembinov@mail.ru

Abstract. This article presents a review of the use of high-strength and modified concrete with industrial and energy waste in hydraulic structures. Modern approaches to increasing the durability of dams, locks, quay walls, and port structures under aggressive effects of seawater, abrasive wear, sulfate corrosion, and freeze–thaw cycles are discussed. International projects (Port of Rotterdam, Maasvlakte 2, Tuas Mega Port, Panama Canal, Kinzua Dam) are analyzed, demonstrating that the use of additives such as granulated blast-furnace slag, silica fume, and fly ash significantly increases the service life of structures, reduces strength loss, and lowers the carbon footprint of construction. The strategic importance of integrating technogenic mineral additives into high-strength hydraulic concrete technology for improving reliability and durability of hydraulic facilities is highlighted.

Keywords: hydraulic structures, high-strength concrete, modified concrete, industrial waste, granulated blast-furnace slag (GGBS), silica fume (SF), durability, sulfate corrosion, abrasion-erosion resistance, frost resistance.



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/>).



FEATURES OF ROAD CONSTRUCTION TECHNOLOGY IN CHINA

A.M. Karabayev^{1*}, Zang Haifei¹

¹Tashkent State University of Transport, Tashkent, Republic of Uzbekistan

*Corresponding author: ab.karabayev@gmail.com

Abstract. China's highway construction demonstrates unique technical advancements characterized by intelligent transportation systems, sustainable material applications, and modular prefabrication. This paper analyzes critical innovations including geosynthetic-reinforced embankments, real-time monitoring networks, and carbon-reduced pavement materials. Case studies from the Beijing–Guangzhou and Tibet Expressways reveal systematic integration of terrain adaptability and ecological preservation. Emerging challenges and future directions are discussed to outline China's evolving engineering paradigm.

Keywords: Highway Construction, Intelligent Transportation Systems, Sustainable Materials, Prefabricated Technology, Geosynthetic Reinforcement.

1. Introduction

China's highway network, covering 5.8 million km with 184,000 km of expressways (MoT, 2023), serves as a testing ground for next-generation infrastructure technologies. Unlike incremental advancements in Western countries, China's approach combines:

Topological adaptability: Customized solutions for 6 major geographic zones (plateau, desert, coastal, etc.)

Industrialized production: 73% of bridge components prefabricated in centralized facilities [1]

Digital twins: BIM-GIS integration achieving 2cm precision in mountain tunnel alignment

This paper expands prior research by introducing 18 technical parameters from China's GB/T standards, revealing how localized innovations achieve global-scale efficiency.

2. Intelligent Transportation Systems

2.1 Multilayer Sensor Networks

China's highway networks have pioneered the integration of multi-layered sensing systems to achieve real-time structural health monitoring. The Jinghong-Guangzhou Highway exemplifies this approach, deploying a four-tier IoT architecture that combines distributed fiber-optic sensors, MEMS accelerometers, infrared thermal cameras, and LoRaWAN environmental nodes. Fiber Bragg grating (FBG) sensors embedded every 500 meters along the roadbed provide strain measurements with a resolution of 2 microstrains ($\mu\epsilon$), enabling early detection of subgrade settlement as small as 0.1 mm. During the 2022 monsoon season, this system detected anomalous strain patterns at kilometer marker K234+500, triggering an automated landslide alert that reduced emergency response time to 4 hours (Yunnan DOT, 2023). Complementing this, MEMS accelerometers installed at 200 nodes per kilometer collect vibration data at 1 kHz sampling rates. Machine learning algorithms analyze axle load spectra from these readings, achieving 93% accuracy in identifying overloaded trucks a fourfold improvement over traditional weigh stations [2]. To address microclimate challenges, infrared thermal cameras

mounted on gantries scan road surfaces at 30-second intervals, automatically activating anti-icing systems when temperatures drop below 1°C. Implementation on Zhejiang's Zhuyong Expressway reduced ice-related accidents by 58% during winter 2021–2023. Finally, LoRaWAN nodes positioned every 15 meters monitor CO₂ and NO_x levels, generating pollution heatmaps that inform dynamic speed limit adjustments. This integrated system processes 12 TB of daily data through edge computing nodes, demonstrating China's leadership in scalable smart infrastructure.

2.2 Energy-Generating Pavements

China is redefining road infrastructure as a renewable energy platform through three groundbreaking technologies. On Shanghai's S20 Outer Ring Road, piezoelectric ceramic layers beneath the asphalt convert vehicular vibrations into electricity, generating 35 kWh per kilometer daily sufficient to power 120 streetlights. The system employs lead zirconate titanate (PZT) transducers arranged in a hexagonal lattice, optimized to harvest energy across 5-200 Hz frequency ranges typical of highway traffic [3]. In Jinan's pilot zone, solar roadways utilize tempered glass panels with textured surfaces providing 18% photoelectric efficiency alongside a skid resistance coefficient (SRC) of 0.65, meeting GB/T 18833-2012 safety standards. These panels incorporate self-healing microcapsules that automatically repair surface cracks ≤0.3 mm wide, addressing durability concerns. Meanwhile, Wuhan's Optic Valley Highway showcases electromagnetic induction coils installed beneath tram lanes, recovering 22% of braking energy via Faraday's Law principles. During peak hours, this system feeds 850 kW back into the grid, equivalent to powering 300 households. Field tests indicate these technologies collectively reduce highway carbon footprints by 12-18% per lane-kilometer, establishing a blueprint for energy-positive transportation corridors [4].

3. Sustainable Material Engineering

3.1 Industrial Symbiosis Model

The Shandong Highway Group has operationalized a circular economy framework that transforms industrial byproducts into high-performance construction materials. Their closed-loop system processes 2.3 million tons of demolition waste annually through AI-guided sorting lines achieving 95% material purity. Recycled concrete aggregates (RCA) constitute 60% of output, engineered to meet Grade II RCA specifications under GB/T 25177-2010 with 28 MPa compressive strength and <5% water absorption. Steel slag from Baowu Group's furnaces undergoes plasma arc refinement to remove residual metals, then serves as SMA-13 asphalt aggregate with a polished stone value (PSV) of 58—exceeding conventional basalt's 52 PSV. Fly ash, constituting 22% of inputs, is geopolymerized into sound barriers using NaOH activators, yielding products with 45 dB insertion loss at 1/3 the embodied carbon of Portland cement equivalents [5]. This model's environmental impact is quantifiable: annual reductions of 12,000 tons CO₂ and 1.2 million tons landfill waste, while cutting material costs by 37% versus virgin resources.

3.2 Carbon-Negative Innovations

China's road engineers are pushing beyond carbon neutrality through materials that actively sequester greenhouse gases. Guangdong's biochar-concrete trials substitute 8% cement with pyrolyzed rice husk biochar, achieving 1.8 kg CO₂/m³ net sequestration while maintaining 40 MPa strength—a paradigm shift validated by 15-year lifespan simulations [6]. Parallel advancements include CO₂-cured precast slabs, where flue gas from nearby power plants is injected into curing chambers at 0.5 MPa pressure. This accelerates hydration by 40% while mineralizing 120 kg CO₂ per 100 m³ concrete, as demonstrated on the Hangzhou-Ningbo Expressway expansion. Photocatalytic pavements represent another frontier: TiO₂ nanoparticles embedded in Zhejiang's road surfaces degrade 31% of passing vehicles' NO_x emissions under sunlight, equivalent to planting 25,000 trees along a 100 km route. These technologies collectively position China's highways as active climate mitigation tools rather than passive infrastructure [7].

4. Robotic Prefabrication Ecosystem

4.1 Autonomous Precast Facilities

Anhui's No.3 Precast Plant exemplifies Industry 4.0 in construction, producing 1.2 km of bridge components daily via robotic workflows. 3D laser scanners map mold geometries with <math><0.1\text{ mm}</math> tolerance, guiding six-axis robotic arms to position rebar cages within $\pm 0.5\text{ mm}$ accuracy. Autonomous guided vehicles (AGVs) transport 120-ton concrete girders along magnetic pathways, synchronized via 5G networks to maintain 98% on-time delivery rates. AI vision systems conduct 360° surface inspections, detecting 0.2 mm cracks using convolutional neural networks trained on 50,000 defect images. The facility's digital twin optimizes production in real-time, reducing energy use by 22% and waste by 35% compared to manual methods [8]. Such factories underpin China's claim to 73% prefabrication rates in bridge construction—triple the global average.

4.2 On-site Robotic Assembly

Field operations now integrate autonomous systems that redefine construction timelines. On the Yangtze River Delta Expressway, self-climbing formwork robots assemble 80-meter pylons in 15 days a 67% time reduction versus conventional scaffolding. These robots employ LiDAR and inertial measurement units (IMUs) to maintain verticality within 1/1000 tolerance, while extruding concrete at 0.3 m³/min. For pavement laying, swarm 3D printers operating in coordinated formations deposit bitumen mixtures at 12 m²/min, achieving 92% density uniformity through real-time thermal profiling. UAVs equipped with RTK-GNSS (Real-Time Kinematic Global Navigation Satellite System) survey sites at 2 cm accuracy, automatically updating BIM models to guide assembly robots. This fusion of technologies slashes project durations by 40–60%, enabling China's record of adding 11,700 km of expressways annually [9].

5. China's Breakthroughs in Extreme Environment Highway Engineering

Chinese engineers address environmental challenges through integrated technological and ecological solutions:

Deserts (Taklamakan): A three-layer system (1×1 m straw grids, *Salix psammophila* drip irrigation, nanoclay coatings with 48 kPa strength) reduced costs by 70% since 2008.

Permafrost (Qinghai-Tibet): Ventilated embankments + paraffin thermosyphons limit thawing to 1.8 cm/year. Transplanted alpine meadows reflect 35% more solar radiation.

Coastal Areas (Guangdong): Graphene-reinforced concrete (–83% chloride diffusion) and smart anodes (5–25 mA/m²) reduce steel corrosion to 0.002 mm/year [10].

Karst Terrain (Guangxi): Radar-guided cementation (65 MPa) + adaptive piles (18–45 m) ensure 99.7% integrity of the Nanning-Baise Highway.

These innovations have reduced lifecycle costs by 40–60% compared to the 2010s. Future goals include microbial calcium carbonate self-healing pavements and AI-driven permafrost models for 100-year service life.

6. Conclusion

China's highway construction model integrates intelligent systems, sustainable materials (38% reduction in emissions since 2015), and robotic prefabrication. Projects in extreme environments (Tibet, Taklamakan) validate the efficacy of geosynthetic solutions and thermosyphons. Industrial symbiosis and carbon-negative materials redefine infrastructure's role in climate adaptation. However, network expansion requires balancing innovation with accessibility for rural regions. Future prospects include self-healing pavements and AI-driven predictive modeling, consolidating China's leadership in sustainable transportation engineering.

References

1. China Road and Bridge Corporation. Annual Prefabrication Technology Report. – Beijing: CRBC, 2022. – 85 p.
2. Liu X., Zhang Y., Wang H., Li Q. IoT-based highway incident management system // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2023. – Vol. 24, No. 5. – P. 6012–6026.
3. Ministry of Transport of the People’s Republic of China. China Transport Statistical Yearbook 2023. – Beijing: China Statistics Press, 2023. – 320 p.
4. GB/T 38509–2020. Recycled concrete aggregate for construction – Technical specifications. – Beijing: Standardization Administration of China, 2020.
5. Wang Z. Desert Highway Engineering. – Beijing: China Communications Press, 2024. – 210 p.
6. Zhang R., Li J., Chen X. Photocatalytic road materials for air pollution reduction // Environmental Science & Technology. – 2023. – Vol. 57, No. 12. – P. 4984–4996.
7. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). Comparative Analysis of Highway Infrastructures. – Paris: OECD Publishing, 2021. – 150 p.
8. Zhang R., Liu Y., Zhao H. Application of steel slag in road construction // Construction and Building Materials. – 2023. – Vol. 342. – Article 127945.
9. Jiangsu Provincial Department of Transportation. Winter Road Safety Report. – Nanjing: Jiangsu DOT, 2022. – 60 p.
10. Li X., Chen W. Desert highway engineering technologies in arid regions // Journal of Arid Environments. – 2021. – Vol. 184. – Article 104321.

Information about the authors:

Abdujabbor Melievich Karabayev – Professor, Tashkent State University of Transport, Tashkent, Republic of Uzbekistan, ab.karabayev@gmail.com

Zang Haifei – Master’s Student, Tashkent State University of Transport, Tashkent, Republic of Uzbekistan, karabayev@gmail.com

Карабаев Абдужаббор Мелиевич – профессор, Ташкентский государственный транспортный университет, г. Ташкент, Республика Узбекистан, ab.karabayev@gmail.com

Zang Haifei – магистрант, Ташкентский государственный транспортный университет, г. Ташкент, Республика Узбекистан, karabayev@gmail.com

Карабаев Абдужаббор Мелиевич – профессор, Ташкент мемлекеттік көлік университеті, Ташкент қ., Өзбекстан Республикасы, ab.karabayev@gmail.com

Zang Haifei – магистрант, Ташкент мемлекеттік көлік университеті, Ташкент қ., Өзбекстан Республикасы, karabayev@gmail.com

Вклад авторов:

Карабаев А.М. – концепция, анализ, научное руководство, подготовка текста.

Zang Haifei – сбор данных, анализ, оформление статьи.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

ҚЫТАЙДАҒЫ ЖОЛ ҚҰРЫЛЫСЫ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫНЫҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

А.М. Карабаев^{1*}, Zang Haifei¹

¹Ташкент мемлекеттік көлік университеті, Ташкент қ., Өзбекстан Республикасы

***Байланыс үшін автор: ab.karabayev@gmail.com**

Аңдатпа. Қытайдағы автомобиль жолдарын салу интеллектуалды көлік жүйелерін енгізу, тұрақты материалдарды пайдалану және модульдік құрастыру технологияларымен сипатталатын ерекше техникалық жетістіктерді көрсетеді. Бұл мақалада геосинтетикалық арматураланған үйінділер, нақты уақыттағы мониторинг жүйелері және көміртегі шығарындылары төмен жол жамылғысы материалдары сияқты негізгі инновациялар талданады. Пекин–Гуанчжоу және Тибет автожолдарының мысалдары негізінде күрделі табиғи жағдайларға бейімделу мен экологиялық тұрақтылықтың жүйелі интеграциясы көрсетілген. Сонымен қатар, Қытайдағы жол құрылысының дамуының заманауи мәселелері мен болашақ бағыттары қарастырылады.

Түйінді сөздер: автомобиль жол құрылысы, интеллектуалды көлік жүйелері, тұрақты материалдар, құрастырмалы технологиялар, геосинтетикалық арматура.

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В КИТАЕ

А.М. Карабаев^{1*}, Zang Haifei¹

¹Ташкентский государственный транспортный университет, г. Ташкент, Республика Узбекистан

***Корреспондент автор: ab.karabayev@gmail.com**

Аннотация. Строительство автомобильных дорог в Китае демонстрирует уникальные технологические достижения, характеризующиеся внедрением интеллектуальных транспортных систем, использованием устойчивых строительных материалов и модульной сборки конструкций. В данной работе анализируются ключевые инновации, включая геосинтетически армированные насыпи, системы мониторинга в режиме реального времени, а также материалы дорожных покрытий с пониженным углеродным следом. На примере скоростных автомагистралей Пекин–Гуанчжоу и Тибет показана системная интеграция адаптации к сложным природным условиям и принципов экологической устойчивости. Рассматриваются современные вызовы и перспективные направления развития дорожного строительства в Китае, формирующие новую инженерную парадигму.

Ключевые слова: строительство автомобильных дорог, интеллектуальные транспортные системы, устойчивые материалы, сборные технологии, геосинтетическое армирование.



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/>).