



ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ КӨПІК МИНИСТРЛІГІ
МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

АВТОМОБИЛЬ ЖОЛДАРЫ КОМИТЕТІ
КОМИТЕТ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

ҚАЗАҚСТАН ЖОЛ ҒЫЛЫМИ-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): 3008-1491

Учредитель: АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт»

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

БАС РЕДАКТОРЫ – ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Мухамбеткалиев Кайрат Куаншкалиевич – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник департамента развития науки АО «КаздорНИИ»

РЕДАКЦИЯ АЛҚАСЫ – РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Амирбаев Ерик Дихамбаевич – Вице-президент АО «КаздорНИИ»

Мухамбеткалиев Кайрат Куаншкалиевич – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник департамента развития науки АО «КаздорНИИ»

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

Тілеу Кұрманғазы Байғазыұлы – доктор PhD, руководитель управления цифровизации

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

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

Жумамуратов Манарбек Бахтиярұлы – младший научный сотрудник департамента развития науки АО «КаздорНИИ», ответственный секретарь

Смагулова Мария Кусаиновна – младший научный сотрудник департамента развития науки 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>

МАЗМУНЫ – СОДЕРЖАНИЕ – CONTENTS

1. *К. Мухамбеткалиев, Д. Алижанов, Б. Чугулев*
**АКТИВАЦИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ПОРОШКОВ ИЗ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ
ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
АСФАЛЬТОБЕТОНА** 4
2. *А. Шалкаров, К.Шалкар*
**ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И РЕМОНТ
ПУТЕПРОВОДА НА АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГЕ
«АСТАНА – БОРОВОЕ»** 11
3. *Ж. Садуакасова, П. Кропачев, А. Жакина, М. Каракасу*
**РАЗРАБОТКА И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА
МОДИФИЦИРОВАННОГО БИТУМА ДЛЯ
АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ** 20
4. *Н. Жылкышбаева, М. Смагулова, Т. Женисов, Д. Пиршаев, Н.
Алданазаров*
**МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТИ И
МОРОЗОСТОЙКОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ БЕТОНОВ** 34
5. *А. Жумагулова*
**ОСОБЕННОСТИ УХОДА ЗА ДОРОГАМИ С
ЦЕМЕНТОБЕТОННЫМ ПОКРЫТИЕМ** 43
6. *N. Shiryayev*
AC Duopave – technology for regional roads 48



**АКТИВАЦИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ПОРОШКОВ ИЗ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ
ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
АСФАЛЬТОБЕТОНА**

К. Мухамбеткалиев¹ , Д. Алижанов¹ , Б. Чугулев^{1,2} 

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

²Архитектурно-строительный факультет, Евразийский национальный университет
им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

*Корреспондент автор: k.mukhambetkaliyev@qazjolgzi.kz

Аннотация. В статье рассматривается возможность применения техногенных отходов, в частности золы-уноса и металлургических шлаков, в качестве минерального порошка для асфальтобетонных смесей. Анализ нормативных документов и экспериментальные исследования показали, что данные материалы могут эффективно использоваться в дорожном строительстве, улучшая теплоустойчивость и адгезию битума, а также снижая углеродный след. Особое внимание уделено влиянию содержания полуторных окислов на физико-механические характеристики асфальтобетонных смесей. Рассмотрены перспективные технологии активации минеральных порошков, в том числе «сухой» метод, позволяющий снизить энергозатраты при их производстве. Представлены результаты лабораторных испытаний, подтверждающие эффективность модифицированных техногенных отходов в дорожном строительстве.

Ключевые слова: техногенные отходы, декарбентные материалы, зола-уноса, металлургические шлаки, минеральный порошок, асфальтобетон.

Введение

Минеральный порошок для асфальтобетонных смесей получают путем помола горных пород или твердых отходов промышленности. Минеральный порошок может быть активирован смесями поверхностно активных веществ (ПАВ) или продуктов, содержащих ПАВ, битумом и т.д.

При использовании техногенных отходов в качестве минерального порошка для обозначения по СТ РК 1276-2004 используется марка МПЗ [1]. Однако в технических условиях устанавливаются требования по содержанию полуторных окислов – $Al_2O_3 + Fe_2O_3$. Данное условие существенно ограничивает применение техногенных отходов в качестве минерального порошка, несмотря на обширные данные по результатам научных исследований по применению техногенных отходов в качестве минерального порошка для асфальтобетонных смесей.

Ретроспективный анализ нормативных документов показывает, что технические условия к минеральному порошку для асфальтобетонных смесей устанавливались ГОСТ 16557-78 [2]. В данном нормативе не было условий для минеральных порошков из техногенных отходов. В технических условиях ограничивалось содержание глинистых частиц, не более 5% по массе, которое определялось по наличию полуторных окислов. При переработке норматива в ГОСТ 16557-2005 в технические условия включены требования к марке МПЗ из техногенных отходов, однако для всех марок минеральных порошков

оставлены требования по содержанию полуторных окислов [3]. При разработке национального стандарта данное условие, также перешло в СТ РК 1276-2004.

Целью настоящих исследований является установление влияния полуторных окислов минеральных порошков из золы-уноса на качество асфальтобетонных смесей.

Современные исследования демонстрируют высокую эффективность использования техногенных отходов, таких как зола уноса, металлургические шлаки и лом кирпичной футеровки, для производства минеральных порошков и асфальтобетонных смесей. В исследованиях установлено, что техногенные отходы улучшают теплоустойчивость и адгезию битума, а асфальтобетонные смеси на их основе по физико-механическим характеристикам не уступают традиционному сырью [4-6].

Задачами нашего исследования являются изучение процессов старения битумного, вяжущего в асфальтобетонных смесях, разработка композиционных составов на основе полиструктурной теории композиционных строительных материалов, основные положения которой освещались в трудах В. И. Соломатова, В. В. Патуроева, Ю. М. Баженова, В. Т. Ерофеева, Ю. Г. Иващенко и других ученых [7-11].

Методология

Исследования проводились по стандартным методикам для исходных материалов асфальтобетонных смесей и физико-механических показателей образцов асфальтобетона.

Минеральный порошок из золошлаковых отходов испытывались по методикам СТ РК 1221–2003 «Порошок минеральный для асфальтобетонных смесей. Методы испытаний» с определением зернового состава, пористости, набухания образцов, определения битумоемкости, влажности и т.д.

Для приготовления контрольных образцов использовался минеральный порошок из карбонатных пород ТОО «TUTAS». Согласно результатам испытаний, активированный минеральный порошок по всем показателям соответствует требованиям СТ РК 1276 «Порошок минеральный для асфальтобетонных и органических минеральных смесей. Технические условия». Минеральный порошок из золошлаковых отходов по показателям зернового состава и пористости не соответствовал требованиям норматива. В дальнейшем золошлаковые отходы измельчались в шаровой мельнице с добавлением органоминерального модификатора в качестве активатора минерального порошка. Измельчение проводилось по «сухому» методу, менее энергозатратный способ производства минерального порошка.

В дальнейшем по методике СТ РК 1225 подбирались асфальтобетонные смеси для мелкозернистого плотного асфальтобетона типа «Б» марки II и определялись физико-механические характеристики асфальтобетонов по СТ РК 1218.

Для приготовления асфальтобетонных смесей использовались следующие исходные материалы:

- щебень из плотных горных пород фр. 10-20 и 5-10 мм, карьер «Волгодоновка»;
- песок из отсевов дробления щебня фр.0-5 мм карьера «Волгодоновка»;
- битум марки БНД 70/100, ТОО «СП «Caspі Bitum»;
- порошок минеральный активированный, ТОО «TUTAS»;
- адгезионная добавка «Амдор»;
- модифицированный минеральный порошок из золошлаковых отходов.

Проанализировав зерновые составы каменных материалов, построили график кривой минеральной части смеси.

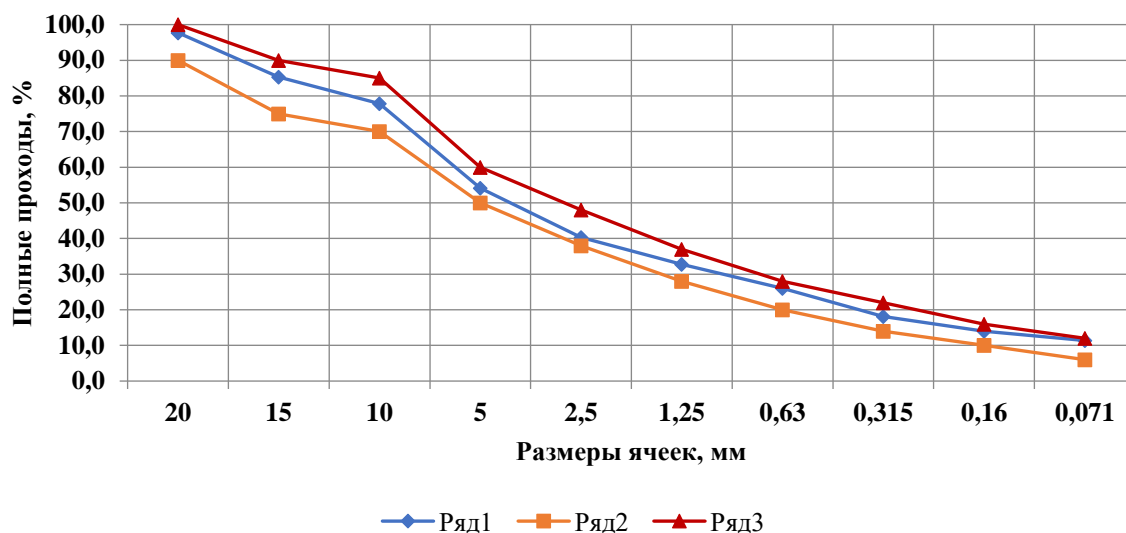


Рисунок 1 - График кривой минеральной части смеси

Для испытания принят следующий рецепт минеральной части:

- щебень фр. 10-20 мм «Волгодоновка» – 20%
- щебень фр. 5-10 мм «Волгодоновка» – 30%
- отсев дробления щебня фр. 0-5 мм карьер «Волгодоновка» – 45%
- активированный минеральный порошок ТОО «TUTAS» – 5%.

Приготовление асфальтобетонных смесей производилось путем взвешивания расчетного количества исходных материалов, нагрева каменных материалов в сушильном шкафу до требуемой температуры, перемешивания в лабораторной лопастной мешалке, и введения компонентов. Перемешивание осуществлялось до достижения визуальной однородности. Температура готовой асфальтобетонной смеси составляла 150-155°C.

Введение адгезионной добавки в битум производилось по следующей технологии: в битум, нагретый до 150 °С, вводился расчетное количество адгезионной добавки (0,3% от массы битума) и перемешивался в течение 10–15 мин.

Смесь №1 (контрольный) с использованием 100% минерального порошка;

Смесь №2 с использованием модифицированного минерального порошка из «сухой золы»;

Смесь №3 с использованием модифицированного минерального порошка из «гидро золы».

Определены оптимальные содержания битума асфальтобетонных смесей и составил для смесей: №1 – 5,2%; №2 – 5,2%; №3 – 5,2%.

Физико-механические свойства асфальтобетонов с применением «сухой золы» и без нее приведены в таблице 1.

Наименование показателя	Требования СТ РК 1225	Смесь №1	Смесь №2	Смесь №3
Средняя плотность, г/см ³	Не норм.	2,44	2,41	2,40
Водонасыщение, %	1,5-4,0	1,5	2,25	2,85
Сдвигоустойчивость по коэффициенту внутреннего трения, не менее	0,83	0,95	0,92	0,94

Сдвигоустойчивость по сцеплению при сдвиге, МПа, не менее	0,36	0,37	0,62	0,44
Предел прочности при температуре 50 °С, МПа, не менее	1,2	1,55	2,13	1,51
Предел прочности при температуре 20 °С, МПа, не менее	2,2	3,9	6,06	4,38
Водостойкость, %, не менее	0,80	0,87	0,81	0,95
Предел прочности при температуре 0 °С, МПа, не более	13	7,78	10,7	8,2
Трещиностойкость по пределу прочности на растяжение при расколе, МПа Не менее Не более	3,5 7,0	4,23	4,8	4,36
Средняя глубина колеи, мм, не более	6,0	5,7	5,5	5,6

Результаты и Обсуждение

По результатам испытаний, асфальтобетон типа Б марки П с применением сухой золы и гидрозолы по всем показателям соответствует требованиям СТ РК 1225–2019.

При этом смесь №2 и смесь №3 по показателям предела прочности при сжатии при температуре 20°С и 50 °С показали наиболее высокие результаты.

Позже были приготовлены образцы для определения показателя водостойкости при длительном водонасыщении, так как данный показатель является одним из ключевых параметров, определяющих долговечность и эксплуатационные свойства дорожного покрытия. Вода может разрушать связь между битумом и минеральными компонентами, вызывая преждевременное старение и деформации покрытия. Именно поэтому испытание водостойкости асфальта при длительном водонасыщении становится важным этапом контроля качества.

Наименование показателя	Требования СТ РК 1225	Смесь №1	Смесь №2	Смесь №3
Водостойкость, при длительном водонасыщении %, не менее	0,70	0,80	0,87	0,95

Целью данного испытания было оценить, как использование сухой золы и гидро-золы вместо традиционного минерального порошка влияет на водостойкость асфальтобетона при длительном водонасыщении, то есть его способность сохранять прочностные характеристики после длительного воздействия воды.

По результатам испытаний можно сделать вывод, что показатели водостойкости при длительном водонасыщении смеси №2 и №3 выше показателя смеси №1 на ~ 8% и 18% соответственно.

Заклучение

Золошлаковые материалы ТЭС в составе асфальтобетона отличаются от традиционных материалов меньшими значениями эквивалента CO₂ и повышенными показателями водостойкости покрытия. Как показывают результаты исследований, полутонные окислы золошлаковых отходов стабилизируют битумное вяжущее, за счет образования органоминеральных комплексов, которые вероятно замедляют процессы старения битума и улучшают долговечность дорожных покрытий.

Указанные факты, открывают возможность в получении нового перспективного материала для дорожной отрасли. Инновационным направлением является использование органоминеральных порошков из осадков сточных вод, которые повышают прочность, коррозионную устойчивость и экологичность асфальтобетонных смесей. Эти подходы позволяют эффективно перерабатывать промышленные отходы, минимизировать их накопление и снизить экологическую нагрузку на окружающую среду.

Список литературы

1. СТ РК 1276-2004. Минеральный порошок для асфальтовых и органоминеральных смесей. Технические условия. Астана, 2004. 22 с.
2. ГОСТ 16557-78. Минеральный порошок для асфальтобетонных смесей. Взамен ГОСТ 16557-71; введен 24.10.78. Москва: Издательство стандартов, 1992.
3. ГОСТ 16557-2005. «Минеральный порошок для асфальтобетонных и органоминеральных смесей». Технические условия. Москва: Издательство стандартов.
4. Lyapin, A.A., Parinov, I.A., Buravchuk, N.I., Cherpakov, A.V., Shilyaeva, O.G.V., Guryanova, O.G.V., Lyapin, A.A., Parinov, I.A., Buravchuk, N.I., Cherpakov, A.V. and Shilyaeva, O.G.V., 2021. Main Areas of Utilizing the Burnt Rocks of Mine Dumps and Ash-slag Waste. Improving Road Pavement Characteristics: Applications of Industrial Waste and Finite Element Modelling, pp.9-18.
5. Kurniati, E.O., Pederson, F. and Kim, H.J., 2023. Application of steel slags, ferronickel slags, and copper mining waste as construction materials: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 198, p.107175.
6. Novytskyi, Y., Yatsenko, V. and Topylko, N., 2022. Prerequisites for the implementation of the European experience in the use of ash-slag materials in the construction of highways: A review. *Theory and Building Practice*, 4(2), pp.90-97.
7. Соломатов В.И. Развитие полиструктурной теории композиционных строительных материалов // Изв. Вузов. Строительство и архитектура . 1985. № 8. С. 58 - 64.
8. ПАТУРОЕВ, В.В., ВОЛГУШЕВ, А.Н., ШЕСТЕРКИНА, Н.Ф. and ЕРЕМИНА, В.А., 1987. Композиция для изготовления строительных изделий и конструкций.
9. Баженов, Ю.М., Батаев, Д.К.С. and Муртазаев, С.А., 2006. Энерго-и ресурсосберегающие материалы и технологии для ремонта и восстановления зданий и сооружений.
10. Ерофеев, В.Т., Ликомаскина, М.А., Афонин, В.В. and Архипова, А.И., 2022. Стойкость асфальтобетонов в условиях воздействия биосреды. *Вестник МГСУ*, 17(10), pp.1358-1371.
11. Иващенко, Ю.Г., Евстигнеев, С.А., Страхов, А.В. and Тимохин, Д.К., 2013. Механоактивированные модифицирующие добавки для строительных композитов. *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. ВГ Шухова*, (3), pp.47-52.

Сведения об авторах (на трех языках):

Мухамбеткалиев Кайрат Куаншкалиевич – т.ғ.к., «ҚаздорҒЗИ» АҚ Ғылымды дамыту департаментінің жетекші ғылыми қызметкері, «Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты» АҚ, Астана, Қазақстан, k.mukhambetkaliyev@qazjolgzi.kz

Мухамбеткалиев Кайрат Куаншкалиевич – к.т.н., ведущий научный сотрудник департамента развития науки АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт», Астана, Казахстан, k.mukhambetkaliyev@qazjolgzi.kz

Kairat Mukhambetkaliyev – Candidate of Technical Sciences (PhD), Leading Researcher of the Science Development Department, JSC «Kazakhstan Road Research Institute», Astana, Kazakhstan, k.mukhambetkaliyev@qazjolgzi.kz

Алижанов Дінмұхамбет Алижанұлы – «ҚаздорҒЗИ» ФАО Жол-құрылыс материалдары және жаңа технологиялар бөлімінің кіші ғылыми қызметкері, Алматы қ., Қазақстан, dimash_a92@mail.ru

Алижанов Дінмұхамбет Алижанұлы – младший научный сотрудник отдела дорожно-строительных материалов и новых технологий, ФАО «КаздорНИИ» г. Алматы, Казахстан dimash_a92@mail.ru

Dinmukhambet Alizhanov – Junior Researcher of the Department of Road Construction Materials and New Technologies, KazdorNII JSC, Almaty, Kazakhstan, dimash_a92@mail.ru

Чугулев Бексултан Дулатович – сынақ зертханасының жетекші инженері, сынақ зертханасы, «Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты» АҚ, beksultan_d@mail.ru

Чугулев Бексултан Дулатович – ведущий инженер испытательной лаборатории, испытательная лаборатория, АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт», beksultan_d@mail.ru

Beksultan Chugulyov – Leading Engineer of the testing laboratory, testing laboratory, JSC «Kazakhstan Road Research Institute», beksultan_d@mail.ru

Вклад авторов (укажите соответствующий вклад каждого автора):

Мухамбеткалиев Кайрат Куаншкалиевич – сбор данных, моделирование, анализ, визуализация, интерпретация, подготовка текста.

Алижанов Дінмұхамбет Алижанұлы – концепция, методология, анализ, получение финансирования.

Чугулев Бексултан Дулатович – тестирование, редактирование.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

**ӨНЕРКӘСІП ҚАЛДЫҚТАРЫНАН АЛЫНҒАН МИНЕРАЛДЫ ҰНТАҚТАРДЫ
АКТИВАЦИЯЛАУ АРҚЫЛЫ АСФАЛЬТБЕТОННЫҢ ФИЗИКАЛЫҚ-
МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЖАҚСARTУ**

К. Мухамбеткалиев¹ , Д. Алижанов¹ , Б. Чугулев^{1,2} 

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

² Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәулет-құрылыс факультеті, Астана, Қазақстан

*Корреспондент автор: k.mukhambetkaliyev@qazjolgzi.kz

Аңдатпа. Мақалада өнеркәсіптік қалдықтарды, атап айтқанда ұшпа күл мен металлургиялық шлактарды асфальтбетон қоспалары үшін минералды ұнтақ ретінде қолдану мүмкіндігі қарастырылады. Нормативтік құжаттарды талдау және эксперименттік зерттеулер бұл материалдардың жол құрылысында тиімді қолданылатынын, асфальтбетонның жылуға төзімділігін және битумның адгезиясын арттыратынын, сондай-ақ көміртек ізін азайтатынын көрсетті. Асфальтбетон қоспаларының физикалық-механикалық қасиеттеріне жартылай оксидтердің әсеріне ерекше назар аударылған. Минералды ұнтақтарды активтендірудің перспективалық технологиялары, соның ішінде энергия шығынын азайтуға мүмкіндік беретін «құрғақ» әдіс қарастырылған. Жол құрылысында модификацияланған өнеркәсіптік қалдықтарды қолданудың тиімділігін растайтын зертханалық сынақ нәтижелері ұсынылған.

Түйінді сөздер: өнеркәсіптік қалдықтар, декарбонизацияланған материалдар, ұшпа күл, металлургиялық шлактар, минералды ұнтақ, асфальтбетон.

ACTIVATION OF MINERAL POWDERS FROM INDUSTRIAL WASTE TO IMPROVE THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF ASPHALT CONCRETE

K. Mukhambetkaliyev¹ , D. Alizhanov¹ , B. Chugulyov^{1,2} 

¹Kazakhstan Road Research Institute JSC, Astana, Kazakhstan

² Faculty of Architecture and Civil Engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

*Corresponding author: k.mukhambetkaliyev@qazjolgzi.kz

Abstract. This paper examines the potential use of industrial waste, particularly fly ash and metallurgical slags, as mineral powder in asphalt concrete mixtures. Analysis of regulatory documents and experimental studies has shown that these materials can be effectively applied in road construction, improving thermal stability and bitumen adhesion, as well as reducing the carbon footprint. Special attention is given to the influence of sesquioxide content on the physical and mechanical properties of asphalt concrete mixtures. Promising technologies for activating mineral powders are considered, including the “dry” method, which allows reducing energy consumption during their production. The results of laboratory tests confirming the effectiveness of modified industrial waste in road construction are presented.

Keywords: industrial waste, decarbonized materials, fly ash, metallurgical slags, mineral powder, asphalt concrete.



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



УДК 624.21.039/25

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И РЕМОНТ ПУТЕПРОВОДА НА АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГЕ «АСТАНА – БОРОВОЕ»

А. Шалкар^{1,2*}, К.А. Шалкар^{1,2}

¹Казахский Автомобильно-Дорожный Институт им. Л. Б. Гончарова, г. Алматы,
Казахстан;

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

*Корреспондент автор: k.shalkar@qazjolgi.kz

Аннотация. В статье приведены результаты обследования и причины появления повреждений дефектного («танцующего») моста, проведенные в АО «КаздорНИИ». Даны предложения по усилению и ремонту сооружения с применением специального анкерного закрепления по концам пролетного строения и устройству новых деформационных швов.

Ключевые слова: путепровод, дефекты, обследование, пролетное строение, усиление, ремонт, анкерное закрепление, деформационный шов.

Введение

Целью работы являлся выявление причин возникновения дефектов и принятие проектных решений по устранению дефектов путепровода и обеспечение безопасной и бесперебойной работы сооружения.

Основные задачи, которые решались при проведении обследования:

- освидетельствование всех доступных элементов мостового сооружения;
- выполнение комплекса инструментальных исследований;
- оценка технического состояния путепровода;
- определение основных технических мероприятий для дальнейшей эксплуатации сооружения на основании анализа выполненной работы.

Современные исследования показывают, что основными причинами дефектов металлических пролетных строений являются усталостные повреждения, коррозионные процессы и недостаточная жесткость узловых соединений, что требует комплексного подхода к диагностике с применением методов неразрушающего контроля [1].

По данным зарубежных исследований, применение инструментального мониторинга (включая тензометрические измерения и динамические испытания) позволяет повысить точность оценки остаточного ресурса мостовых сооружений и своевременно выявлять скрытые дефекты конструкций [2].

Путепровод через автомобильную дорогу с металлическим рамным неразрезным пролетным строением предназначен для пропуска по нему автомобильного и пешеходного движения под временные подвижные нагрузки А14 и единичных спецнагрузок НК 120 и НК-180 без толпы.

Путепровод расположен вертикальной выпуклой кривой $R = 15000$ м (Рис.1). Путепровод запроектирован по схеме - 15,3 + 39,4 + 15,3 (м), полная длина путепровода - 70,66 м, габарит путепровода $\Gamma-19+2 \times 1,0$ м.

Металлическое рамное неразрезное пролетное строение "бегущая лань", в поперечном сечении пролетное строение состоит из трех П-образных блоков главных балок, семи средних и двух консольных ортотропных плит, объединяемых при монтаже на сварке и высокопрочных болтах.

Согласно исследованиям, ортотропные плиты являются наиболее уязвимыми элементами мостовых конструкций из-за концентрации напряжений в сварных швах, что приводит к образованию усталостных трещин при длительной эксплуатации [3]. Средний блок главных балок в поперечном сечении устанавливается горизонтально, остальные блоки главных балок и средние ортотропные плиты имеют поперечный уклон 0,02 за счет разной высоты стоек промежуточных опор и подферменных площадок на устоях. Консольные ортотропные плиты имеют обратный поперечный уклон 0,02. наклонными опорами - стойками разбито по длине на 5 монтажных элементов (панелей) по схеме секций 5x14,0м. Угол наклона опор-стоек - 47°. Опоры - стойки опираются на опорах №2,3.

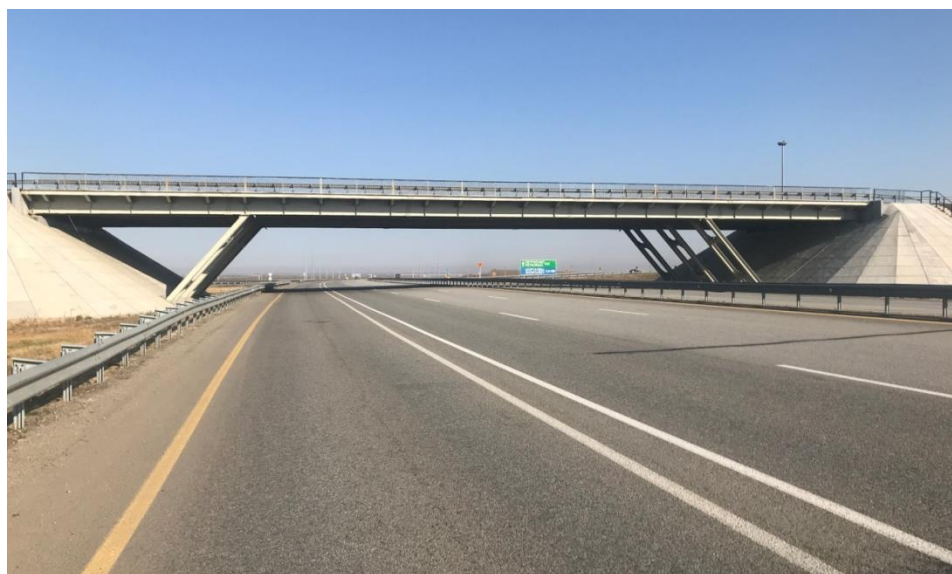


Рисунок 1 – Общий вид путепровода

Высота стенок блоков главных балок принята 1360мм, толщина нижнего пояса 25мм, толщина настильного листа ортотропной плиты 12мм, толщина покрытия по оси путепровода 145мм, полная строительная высота пролетного строения $H_{стр} = 1700$ мм. Исследования показывают, что выбор оптимальной толщины настильного листа и параметров жесткости существенно влияет на долговечность ортотропных плит и снижает риск образования усталостных повреждений [4]. При данной высоте жесткость рамного пролетного строения достаточна без образования строительного подъема. Изломы профиля в монтажных стыках не требуется.

Пролетные строения с крайними опорами соединены шестью подвижными тангенциальными опорными частями. Опорные части на устоях крепятся к нижним поясам пролетного строения высокопрочными болтами М24, а к подферменникам опор анкерами или посредством приварки по контуру к закладным листам, заделанным в бетон опор в соответствии с требованиями п.3.171-3.173 СНиП 2.05.03-84*.

Для основных несущих конструкций рамного неразрезного пролетного строения принята низколегированная сталь марки 15ХСНБД-2 по ТУ14-1-5120-92.

Для осей шарнирных опорных частей 40Х13 ГОСТ 5632-72.

Монтажные соединения – на высокопрочных болтах М24 с усилием напряжения $P=26,3$ тс каждого болта.

По данным научных публикаций, применение высокопрочных болтовых соединений повышает надежность монтажных стыков и снижает вероятность развития трещин по сравнению со сварными соединениями при циклических нагрузках [5].

Водоотвод с проезжей части моста и тротуаров осуществляется за счет встречных поперечных уклонов $i = 0,02$ и продольных уклонов $0,008$.

Эффективная система водоотвода является критическим фактором долговечности мостовых сооружений, так как накопление влаги ускоряет коррозию металлоконструкций и разрушение защитных покрытий [6].

Методология

Для устранения вышеперечисленных дефектов необходимо устройство анкерных креплений по концам консольных пролетных строений для устранения потери строительного подъема главных балок. При этом шарнирное анкерное крепление одним концом закрепляется на поперечные балки у шкафной стенки, а другим концом по верху ригеля устоя химическим анкером. Для подбора диаметра и определения глубины химического анкера (шпильки) специалистами ТОО «Hilti-Казахстан» произведены расчет шпильки на отрыв. По результатам расчета подобран диаметр шпильки 20 мм прочности 8,8 глубиной 300 мм. Полный технологический процесс устройства шарнирного анкерного крепления состоит из следующих работ:

- изготовления проушин для приварки к поперечным балкам металлического пролетного строения;
- изготовления проушин для закрепления ригеля химическими анкерами;
- изготовления соединительных элементов, болты диаметром 40 мм и шайбы диаметром 70 мм;
- закрепление проушин к поперечным балкам над опорными частями;
- бурение скважин диаметром 24 мм для устройства химического анкера;
- очистка пробуренной скважины металлической щеткой HIT-RB и сжатым воздухом;
- заполнение ~ 70% объема скважины химическим составом Hilti HIT-RE 500;
- установление в скважину с химическим составом шпильку HIT-V диаметром 20 мм прочностью 8.8 путем завинчивания и затягивание гайкой.
- устранение зазора между элементами опорных частей, путем нагружения концов пролетного строения;
- натяжение концов пролетного строения соединительными элементами и болтами диаметром 40 мм;
- окраска шарнирного анкерного крепления перхлорвиниловой краской.

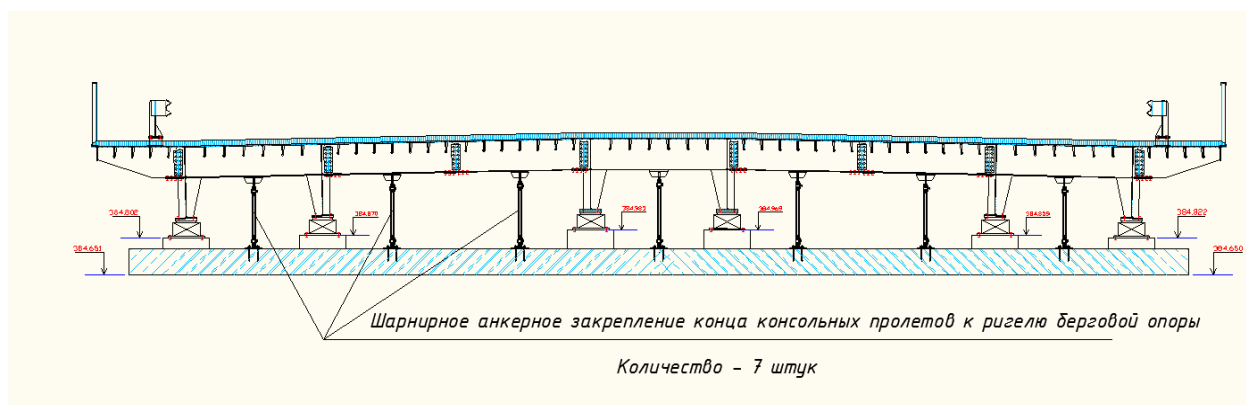


Рисунок 2 – Анкерное крепление концов пролетного строения к насадке (ригелю) береговых опор

До капитального ремонта моста за существующим деформационным швом был устроен дополнительный щебеночно-мастичный деформационный шов. Технологический процесс устройства щебеночно-мастичного деформационного шва выполнены в следующей последовательности:

1. Разрезка разрушенной части асфальтобетона и устройство штрабы для заливки щебеночно-мастичного деформационного шва.
2. Все поверхности образованной штрабы зачистить проволочной щеткой, очистить и высушить с помощью горячего воздуха, подаваемого высокотемпературной горелкой.
3. Уложить со стороны существующего металлического шва в зазоры уплотнители из пенькового каната (жгута), пропитанного битумом.
4. После очистки поверхности и установления уплотнителя, в течение 30 минут, образованные штрабы покрыть тонким слоем горячего полимербитумного вяжущего (огрунтовка).
5. В штрабу засыпать разогретый до 150°C , щебень фракции 5...10 мм на длину захватки не более 2 м.
6. Горячее вяжущее вылить в штрабу с уложенным щебнем и производить их перемещение граблями, при этом каждое зерно щебня должно быть покрыто вяжущим и заполнены все промежутки между щебнями.
7. Уложенную смесь тщательно уплотнить ручной уплотняющей виброплитой массой не менее 85 кг, до тех пор, пока поверхность конструкции деформационного шва не сравняется с поверхностью покрытия проезжей части.
8. Поверх деформационного шва на выполненной захватке рассыпать щебень мелкой фракции, образуя шероховатый слой.

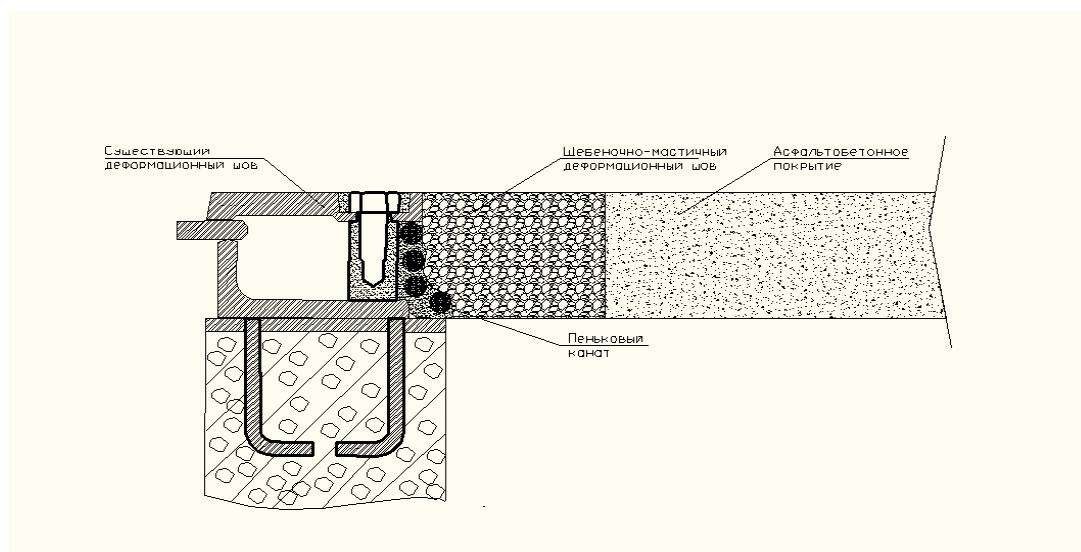


Рисунок 3 – Конструкция щебеночно-мастичного деформационного шва

Результаты и обсуждения

В результате проведения инструментального обследования (геодезическая съемка) проезжей части и низа главных балок выяснилось, что при прохождении тяжеловесных грузов, из-за небалансированности веса пролетов произошел отрыв деформационного шва от устоев, в результате консольная часть пролетного строения переместилась вверх и был утерян строительный подъем среднего пролета путепровода. Появление растягивающих усилий в консоли пролетного строения, привело к образованию зазоров в тангенциальных опорных частях, величиной от 2,0 до 4,5 см, между верхним балансиром (стальной плитой) и цилиндрической поверхностью нижнего балансира (рис. 4 и 5).

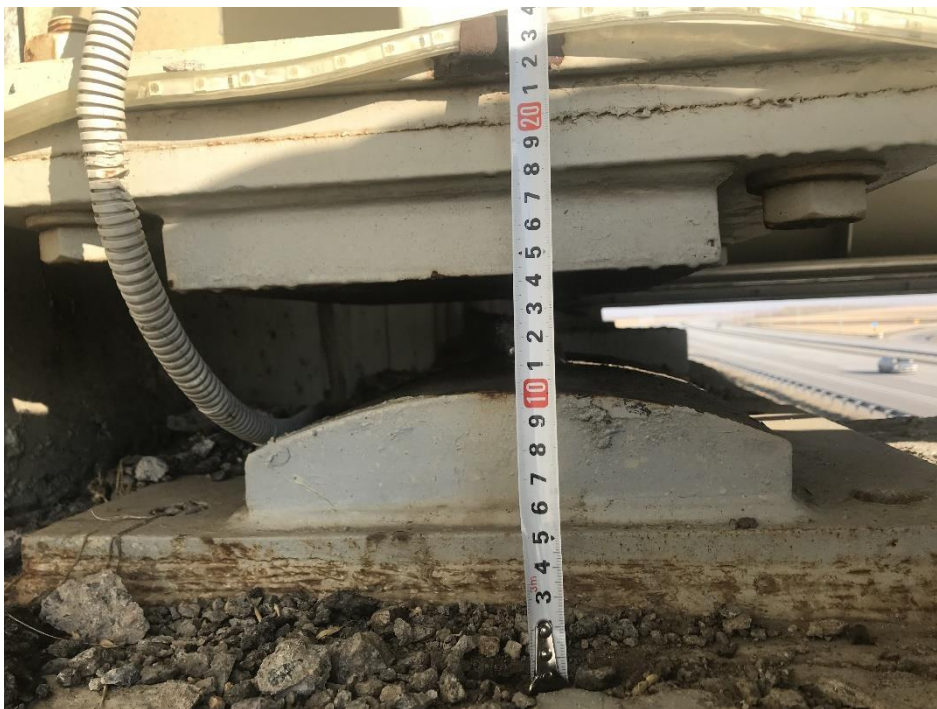


Рисунок 4 – Отрыв пролетного строения от опоры 4



Рисунок 5 – Отрыв деформационного шва от бетона

Результаты инструментальной съемки по трем точкам проезжей части и понизу главных балок показали, что строительный подъем середины среднего пролета составляет соответственно 4,3 см, при проектном 12,0 см, т.е. строительный подъем над стыком между монтажными блоками утрачен на 74,2%. Нарушен продольный уклон в середине пролетного строения моста, по проезжей части моста не обеспечивается отвод воды.

Причиной возникновения дефекта является неправильное проектное решение по назначению длины консольного пролета и подбору соотношению длин пролетов. Соотношение крайнего пролета к среднему $15.3/39,4 = 0,388$ является малым для данного типа пролетного строения. Обычно соотношение для неразрезных мостов принимается равным (0,5...0,7) от длины среднего пролета. Кроме того, принятое данное решение, а также недостаточная длина анкерных бетонных элементов деформационного шва явились причиной отрыва шва и разрушения верхней части шкафных стенок устоя.

Полностью разрушены и не работают деформационные швы путепровода. Одним из причин отрыва деформационного шва и разрушения верхней части шкафных стенок устоя является недостаточная длина анкерных элементов шва (Рис 5).

Для открытия проезда в кратчайшее время, по путепроводу необходимо устройство временного шарнирного анкерного закрепления, работающего на отрыв по концам консоли пролетного строения. При нахождении транспортных средств на среднем пролете анкерные закрепления воспринимают растягивающие усилия, возникающие на консолях крайних пролетов. Расчеты, произведенные на ПК «Midas Civil» показали, что растягивающее (отрывное) усилие у опоры составляют: для 3 и 4 балки – 15 т; для 2 и 5 балки – 10 т, а для 1 и 6 балки – 7 т. Расчетная схема, деформации от постоянной нагрузки и подвижной нагрузки, а также опорные реакции (отрывное усилие) приведены на рис. 6 -9.

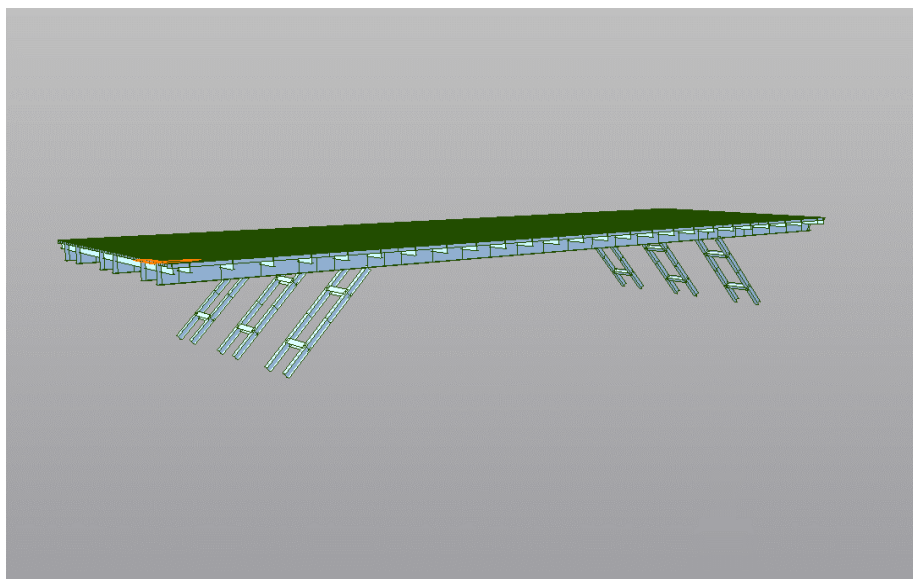


Рисунок 6 – Расчетная схема путепровода

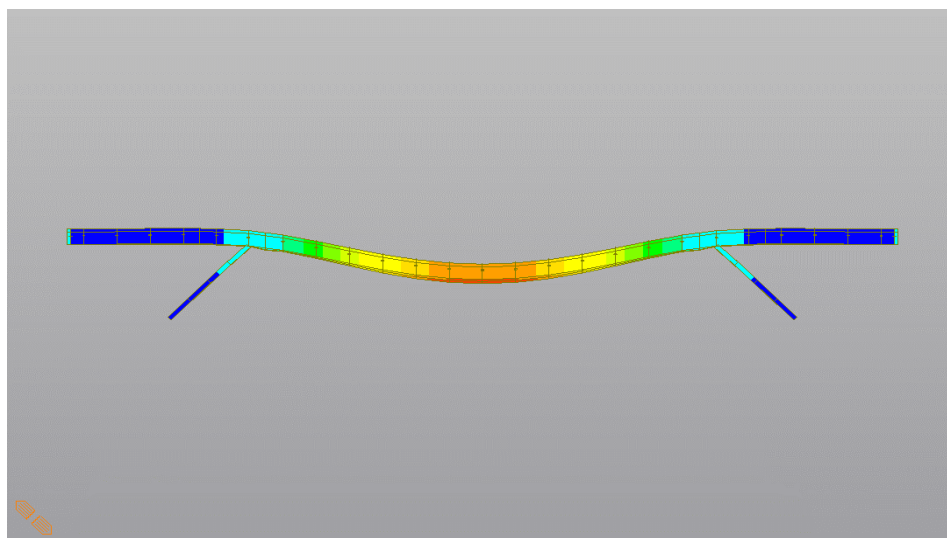


Рисунок 7 – Деформации от постоянных нагрузок

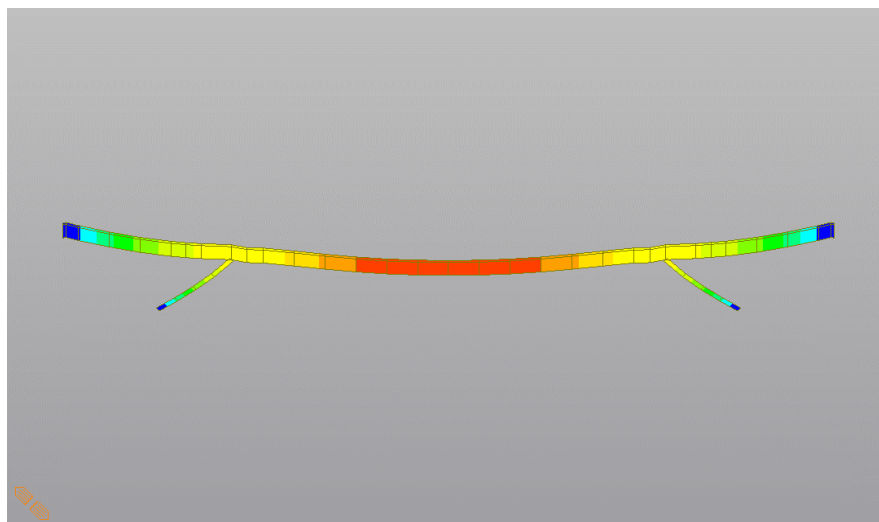


Рисунок 8 – Деформации от подвижной нагрузки

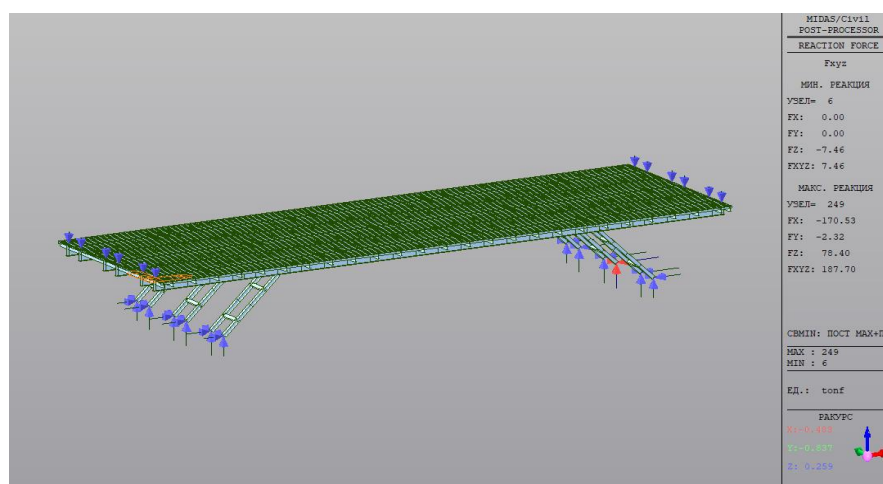


Рисунок 9 – Опорные реакции от сочетания постоянных сил и подвижной нагрузки

Заключение

По результатам принятых мер и выполненных ремонтных работ в короткий срок были устранены все дефекты и открыт движения по мостовому сооружению.

Для исключения появления новых дефектов необходимо провести постоянный мониторинг, а при необходимости научно-техническое сопровождение выполненных работ мостового сооружения.

Список литературы

1. Frangopol D.M., Liu M. Maintenance and management of civil infrastructure based on condition, safety, optimization, and life-cycle cost // *Engineering Failure Analysis*. – 2017. – Vol. 82. – P. 165–175. – DOI: 10.1016/j.engfailanal.2017.03.012.
2. Ni Y.Q., Ye X.W., Ko J.M. Monitoring-based fatigue reliability assessment of steel bridges: Analytical model and application // *Measurement*. – 2019. – Vol. 138. – P. 1–12. – DOI: 10.1016/j.measurement.2019.07.022.
3. Deng L., Wang W., Yu Y. Fatigue performance of orthotropic steel bridge decks: A review // *Journal of Constructional Steel Research*. – 2018. – Vol. 146. – P. 149–163. – DOI: 10.1016/j.jcsr.2018.04.012.

4. Zhang Q., Liu Y., Bao Y. Fatigue assessment of orthotropic steel decks considering actual traffic flow // *Engineering Structures*. – 2020. – Vol. 206. – 110751. – DOI: 10.1016/j.engstruct.2020.110751.

5. Kim S.H., Yura J.A. Behavior and design of bolted connections under cyclic loading // *Journal of Constructional Steel Research*. – 2016. – Vol. 122. – P. 1–10. – DOI: 10.1016/j.jcsr.2016.09.008.

6. Zhou X., Chen G., Zhang Y. Durability of steel bridge structures under environmental effects // *Construction and Building Materials*. – 2019. – Vol. 211. – P. 117144. – DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.117144.

Сведения об авторах (на трех языках):

Шалкарар Абдиашим Абджаппарович – жетекші ғылыми қызметкер, жол-құрылыс материалдары және жаңа технологиялар бөлімі, «Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты» АҚ, a.shalkarov@qazjolgzi.kz

Шалкарар Абдиашим Абджаппарович – ведущий научный сотрудник, отдел дорожно-строительных материалов и новых технологий, АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт», a.shalkarov@qazjolgzi.kz

Abdiashim Shalkarov – Leading Researcher, Department of Road Construction Materials and New Technologies, JSC «Kazakhstan Road Research Institute», a.shalkarov@qazjolgzi.kz

Шалкар Кайсар Абдиашимулы – басқарма басшысы, көпір және жол құрылыстары және автомобиль жолдарын паспорттау басқармасы, «Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты» АҚ, k.shalkar@qazjolgzi.kz

Шалкар Кайсар Абдиашимулы – руководитель управления, управление мостовых и дорожных сооружений и паспорттау автомобильных дорог, АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт», k.shalkar@qazjolgzi.kz

Kaisar Shalkar – Head of the Department, Department of Bridge and Road Structures and Road Passportization, JSC «Kazakhstan Road Research Institute», k.shalkar@qazjolgzi.kz

Вклад авторов:

Шалкарар Абдиашим Абджаппарович – сбор данных, моделирование, анализ, визуализация, интерпретация, подготовка текста.

Шалкар Кайсар Абдиашимулы – концепция, методология, анализ.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

«АСТАНА – БОРОВОЕ» АВТОМОБИЛЬ ЖОЛЫНДАҒЫ ЖОЛӨТКІЗГІШТІҢ ТЕХНИКАЛЫҚ ЖАҒДАЙЫН БАҒАЛАУ ЖӘНЕ ЖӨНДЕУ

А. Шалкарар^{1,2*}, К.А. Шалкар^{1,2}

¹Л. Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты, Алматы қ., Қазақстан;

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

*Корреспондент автор: k.shalkar@qazjolgzi.kz

Аңдатпа. Мақалада «ҚаздорНИИ» АҚ жүргізген ақаулы («тербелмелі») көпірді тексеру нәтижелері және зақымданулардың пайда болу себептері келтірілген. Құрылысты күшейту және жөндеу бойынша ұсыныстар берілген, оның ішінде аралық құрылымның шеттерінде арнайы анкерлік бекітуді қолдану және жаңа деформациялық жіктерді орнату қарастырылған.

Ключевые слова: жолөткізгіш, ақаулар, тексеру, аралық құрылым, күшейту, жөндеу, анкерлік бекіту, деформациялық жіктер.

ASSESSMENT OF TECHNICAL CONDITION AND REPAIR OF AN OVERPASS ON THE “ASTANA – BOROVOE” HIGHWAY

A. Shalkarov^{1,2*}, K.A. Shalkar^{1,2}

¹ L.B. Goncharov Kazakh Automobile and Road Institute, Almaty, Kazakhstan;

² Kazakhstan Road Research Institute JSC, Astana, Kazakhstan

*Corresponding author: k.shalkar@qazjolgzi.kz

Abstract. The article presents the results of inspection and identifies the causes of defects of a malfunctioning (“dancing”) bridge conducted by KazdorNII JSC. Proposals are provided for strengthening and rehabilitation of the structure, including the use of special anchor fixing at the ends of the span structure and installation of new expansion joints.

Keywords: overpass, defects, inspection, span structure, strengthening, repair, anchor fixing, expansion joint.



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



**РАЗРАБОТКА И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА
МОДИФИЦИРОВАННОГО БИТУМА ДЛЯ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ**

Ж. С. Садуакасова^{1*}, П. Кропачев¹, А. Жакина², М. Каракасу³

¹КарТУ им. Абылкаса Сагинова, г. Караганда, Казахстан;

²ТОО «Институт органического синтеза и углехимии Республики Казахстан», Казахстан;

³Ескишехирский университет им. Османгазы, Турция

*Корреспондент автор: zhansulu.saduakasova@mail.ru

Аннотация. В данной работе представлены результаты исследования технологии производства модифицированного битума для асфальтобетонных покрытий с использованием вторичного сырья на примере комплексной установки «ЭЛОУ-АВТ-БО» битумного завода ТОО «СП «CASPI BITUM». Проанализированы характеристики исходного сырья, технологические параметры процесса окисления гудрона, а также влияние компаундирования с затемнённой вакуумной фракцией на качество конечного продукта. Представлены результаты лабораторных испытаний, подтверждающие соответствие получаемых битумов марок БНД 70/100 и БНД 100/130 требованиям стандарта СТ РК 1373-2013. Установлено, что применение вторичного сырья в виде вакуумных дистиллятов позволяет оптимизировать технологические параметры производства и улучшить эксплуатационные характеристики битумных вяжущих. Проведён анализ экологических и экономических аспектов использования вторичного сырья в производстве битума, разработаны рекомендации по оптимизации технологического процесса.

Ключевые слова: модифицированный битум, вторичное сырьё, окисление гудрона, компаундирование, асфальтобетонные покрытия, вакуумная перегонка, затемнённая вакуумная фракция, БНД 70/100, БНД 100/130, технологический регламент.

1. Введение

1.1. Актуальность модификации битума

Битумы являются одним из наиболее востребованных инженерно-строительных материалов, широко применяемых при строительстве и ремонте дорожных и аэродромных покрытий. По данным технологического регламента установки «ЭЛОУ-АВТ-БО», мощность производства составляет 1 000 000 тонн сырой нефти в год, при этом номенклатура выпускаемой продукции включает битум дорожный марок БНД 70/100 и БНД 100/130 в объёме 406 550 тонн в год [1].

Современные требования к качеству дорожных покрытий предъявляют повышенные стандарты к эксплуатационным характеристикам битумных вяжущих. В Казахстане, как и в России, к дорожным битумам предъявляются более высокие требования в отношении морозо- и теплостойкости, а также к адгезионным свойствам. За рубежом к дорожным битумам предъявляются более жёсткие требования по показателю растяжимости при 25°C [2].

Дорожные покрытия из асфальтобетона подвергаются воздействию различных факторов: температурных перепадов, влаги, механических нагрузок от транспортных средств, ультрафиолетового излучения. В связи с этим к битумным вяжущим предъявляются повышенные требования по комплексу физико-механических свойств, обеспечивающих долговечность и надёжность дорожных конструкций.

1.2. Проблемы традиционных битумных вяжущих

Традиционные битумные вяжущие, получаемые путём окисления гудрона, имеют ряд ограничений, связанных с:

- Зависимостью качества от природы исходного сырья;
- Необходимостью строгого контроля температурных режимов процесса окисления;
- Ограниченными возможностями регулирования фракционного состава гудрона;
- Повышенным содержанием парафиновых углеводородов, негативно влияющих на растяжимость битумов.

Согласно технологическому регламенту, повышенное содержание твёрдых парафинов (выше 3% вес.) в сырье понижает растяжимость битумов, а в ходе процесса приводит к повышению расхода воздуха и продолжительности окисления [3]. Это существенно ограничивает возможности получения битумов с заданными характеристиками и увеличивает энергозатраты на производство.

Традиционные методы производства битума не всегда позволяют достичь оптимального соотношения между твёрдостью и эластичностью материала, что критично для эксплуатации дорожных покрытий в условиях резких климатических изменений. Особенно актуальной является проблема обеспечения морозостойкости битумов при сохранении их теплостойкости.

1.3. Роль вторичного сырья и отходов

В контексте современной нефтепереработки особое значение приобретает рациональное использование вторичного сырья и промежуточных продуктов. На установке «ЭЛОУ-АВТ-БО» реализован подход к комплексному использованию побочных продуктов вакуумной перегонки, включая:

- Затемнённую вакуумную фракцию (ЗВФ) – четвёртый вакуумный дистиллят;
- Тяжёлый вакуумный газойль (ТВГ);
- Лёгкий вакуумный газойль (ЛВГ).

Затемнённая вакуумная фракция (ЗВФ) выводится с 5-й полуглухой тарелки вакуумной колонны поз.Т-1102 и используется для компаундирования с гудроном перед подачей в блок окисления [4].

Использование вторичного сырья в производстве битума имеет несколько преимуществ. Во-первых, это позволяет рационально использовать ресурсы и снизить количество отходов нефтепереработки. Во-вторых, компаундирование с ЗВФ позволяет регулировать фракционный состав сырья для окисления и улучшать качество конечного продукта. В-третьих, данный подход способствует снижению себестоимости производства за счёт использования внутриваровских побочных продуктов.

1.4. Цель исследования

Целью настоящего исследования является разработка и оптимизация технологии производства модифицированного битума для асфальтобетонных покрытий с использованием вторичного сырья в виде затемнённой вакуумной фракции.

Задачи исследования: 1. Анализ характеристик исходного сырья и полимерных компонентов; 2. Исследование технологических параметров процесса окисления гудрона; 3. Оценка влияния компаундирования с ЗВФ на качество битума; 4. Разработка рекомендаций по оптимизации производственного процесса; 5. Анализ экологических и экономических аспектов применения вторичного сырья.

2. Анализ исходных материалов

2.1. Характеристика битума

Нефтяные битумы представляют собой остаточные продукты переработки нефти, имеющие твёрдую или вязкую консистенцию и состоящие из углеводородов и гетероатомных соединений. Элементный состав битумов следующий (% масс.): углерод 80-85; водород 8,0-11,5; кислород 0,2-4,0; сера 0,5-7,0; азот 0,2-0,5 [5].

Нефтяные битумы являются дисперсными системами, в которых дисперсионной средой являются масла и смолы, а дисперсной фазой – асфальтены. В зависимости от степени агрегирования и пептизации нефтяные битумы образуют различные мицеллярные системы: золи, золи-гели, гели.

Структура битума определяется соотношением между компонентами: асфальтенами, смолами и маслами. При преобладании масел и смол битум имеет зольную структуру, характеризующуюся низкой вязкостью и высокой текучестью. При увеличении содержания асфальтенов структура переходит в гелевую, что приводит к повышению твёрдости и снижению пластичности. Оптимальные свойства для дорожных битумов достигаются при золь-гелевой структуре, обеспечивающей сбалансированное сочетание твёрдости и эластичности.

2.2. Характеристика исходной нефти

Источником сырья для производства дорожных битумов является месторождение нефти Каражанбас Западного Казахстана. Физико-химические свойства сырой нефти месторождения Каражанбас представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-химические свойства сырой нефти

Показатель	Значение
Плотность при 20°C, кг/м ³	937,1
Массовая концентрация хлористых солей, мг/дм ³ , не более	100
Содержание воды, % масс., не более	0,5
Массовая доля механических примесей, % масс., не более	0,05
Содержание серы, % масс., не более	2,1

Классификация нефти по ГОСТ Р 51858-2002: класс 3 (высокосернистая), тип 4 (битумная), группа 1, вид 1.

Пригодность нефти для получения из неё битума определяется соотношением:

$$A + C - 2П > 0$$

где А, С и П – содержание в нефти соответственно асфальтенов, смол и парафина, % масс.

Если левая часть этого неравенства меньше нуля, то нефть считается непригодной для получения из неё битума хорошего качества.

Нефть месторождения Каражанбас относится к битумным нефтям с повышенным содержанием серы. Высокое содержание серы в нефти влияет на процесс окисления и свойства получаемого битума. При окислении серосодержащих соединений образуются сульфокислоты и другие продукты, которые могут влиять на адгезионные свойства битума. Однако при соблюдении оптимальных технологических режимов возможно получение битума, соответствующего требованиям стандартов.

2.3. Описание вторичного сырья и полимерных компонентов

2.3.1. Гудрон (кубовый продукт вакуумной колонны)

Гудрон является основным сырьём для производства окисленных битумов. Характеристики гудрона представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики гудрона

Показатель	Значение
Плотность при 20°C, кг/м ³	999
Температура вспышки в открытом тигле, °C	167
Вязкость кинематическая при 20°C, мм ² /сек	18800

Показатель	Значение
Вязкость кинематическая при 100°C, мм ² /сек	228
Массовая доля серы, % масс., не более	3,39
Температура начала кипения, °С, не более	495
Отгоняется выше 500°C, % масс., не менее	99,5
Температура размягчения по КиШ, °С	40-50

Высокая вязкость гудрона при 20°C (18800 мм²/сек) свидетельствует о его значительной плотности и содержании тяжёлых углеводородов. Температура размягчения в диапазоне 40-50°C указывает на то, что гудрон при нормальных условиях находится в твёрдом или вязком состоянии. Высокое содержание фракций, кипящих выше 500°C (99,5%), подтверждает остаточный характер данного продукта.

2.3.2. Затемнённая вакуумная фракция (ЗВФ)

Затемнённая вакуумная фракция (ЗВФ) – четвёртый вакуумный дистиллят, выводимый с 5-й полуглухой тарелки вакуумной колонны поз. Т-1102. Характеристики ЗВФ представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристики затемнённой вакуумной фракции

Показатель	Значение
Плотность при 20°C, кг/м ³	962,6
50% перегоняется при температуре, °С, не более	489
96% перегоняется при температуре, °С, не более	565
Вязкость кинематическая при 20°C, мм ² /сек	24
Содержание серы, % масс.	1,78
Температура вспышки, °С	164

ЗВФ используется для компаундирования с гудроном перед подачей в блок окисления. Смесь гудрона с ЗВФ направляется в блок окисления (БО) для получения окисленного битума [7].

Сравнение характеристик гудрона и ЗВФ показывает существенные различия в вязкостных свойствах. Вязкость ЗВФ при 20°C составляет всего 24 мм²/сек, что в 780 раз ниже вязкости гудрона. Это позволяет использовать ЗВФ в качестве регулятора текучести при компаундировании. Более низкое содержание серы в ЗВФ (1,78% против 3,39% в гудроне) также способствует улучшению качества конечного продукта.

2.3.3. Тяжёлый вакуумный газойль (ТВГ)

Тяжёлый вакуумный газойль выводится с полуглухой тарелки, расположенной под 4-м пакетом насадок вакуумной колонны поз. Т-1102. Характеристики ТВГ представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Характеристики тяжёлого вакуумного газойля

Показатель	Значение
Плотность при 20°C, кг/м ³	934,2
50% перегоняется при температуре, °С, не более	431
90% перегоняется при температуре, °С, не более	470
Вязкость кинематическая при 20°C, мм ² /сек	313
Содержание серы, % масс.	1,7
Температура вспышки, °С	155

ТВГ занимает промежуточное положение между ЗВФ и гудроном по вязкостным характеристикам. Его использование в компаундировании позволяет дополнительно регулировать свойства сырья для окисления. Температура вспышки ТВГ (155°C) близка к температуре вспышки ЗВФ, что указывает на схожую летучесть этих фракций.

2.4. Функции и влияние вторичного сырья на свойства битума

Утяжеление гудрона путём компаундирования с вакуумной затемнённой фракцией позволяет одновременно снижать его парафинистость и повышать ароматизированность, а также регулировать фракционный состав гудрона, направляемого на окисление.

Согласно технологическому регламенту, часть ЗВФ после теплообменника поз.Е-1112 направляется на смешение с гудроном на выходе поз.Е-1115. Смесь гудрона с ЗВФ направляется в блок окисления для получения целевого продукта – окисленного битума.

Влияние компаундирования на свойства битума:

1. Снижение парафинистости – добавление ароматизированной ЗВФ снижает содержание парафиновых углеводородов в сырье для окисления. Повышенное содержание парафинов негативно влияет на растяжимость битума и ухудшает его низкотемпературные свойства.

2. Улучшение растяжимости – пенетрация тем меньше, а растяжимость тем больше, чем выше глубина отбора масляных фракций из мазута. Компаундирование позволяет регулировать это соотношение и достигать требуемых показателей растяжимости.

3. Регулирование вязкости – ЗВФ позволяет регулировать вязкостные характеристики гудрона перед окислением. Это важно для обеспечения оптимальных условий окисления и получения битума с заданной пенетрацией.

4. Оптимизация температуры размягчения – компаундирование позволяет достичь требуемого соотношения «температура размягчения – пенетрация», что критично для обеспечения теплостойкости битума.

3. Технология производства модифицированного битума

3.1. Общая схема производства

Комплексная установка «ЭЛОУ-АВТ-БО» состоит из трёх блоков - 1. Блок ЭЛОУ – предназначен для обессоливания и обезвоживания сырой нефти;

2. Блок АВТ – предназначен для последовательной отгонки от сырой нефти в атмосферной и вакуумной колоннах дистиллятных фракций с получением целевого нефтепродукта требуемого качества – гудрона;

3. Блок окисления (БО) – предназначен для неглубокого окисления гудрона с получением битума в соответствии с требованиями стандарта на битумы вязкие дорожные.

Взаимосвязь блоков обеспечивает комплексную переработку сырой нефти с получением широкой номенклатуры нефтепродуктов. Блок ЭЛОУ подготавливает нефть к дальнейшей переработке, блок АВТ производит разделение нефти на фракции, а блок окисления преобразует гудрон в дорожный битум.

3.2. Этапы процесса

3.2.1. Подготовка сырья (блок ЭЛОУ)

Нефть из резервуаров ТСЦ поступает на установку с температурой 20°C и расходом 75000–137500 кг/час. Перед электродегидраторами нефть подогревается в рекуперативных теплообменниках за счёт теплоты отводимых с ректификационных колонн фракций.

Последовательность нагрева нефти в теплообменниках:

- Е-1106А/В (нефть – ВЦО вакуумной колонны): до 37-40°C;
- Е-1101 (нефть – ВЦО атмосферной колонны): до 50-60°C;
- Е-1102 (нефть – керосиновая фракция): до 60-65°C;
- Е-1108А/В (нефть – ЛВГ): до 70-75°C;
- Е-1104А/В (нефть – дизельная фракция): до 100-105°C;
- Е-1111А/В (нефть – ТВГ): до 115-120°C;
- Е-1107А/В (нефть – ЛВГ): до 140-145°C;
- Е-1115А/В (нефть – гудрон): до 155°C.

В электродегидраторах поз. V-1101А и V-1101В под действием переменного электрического поля высокой напряжённости, температуры и действия деэмульгатора

происходит разрушение нефтяной эмульсии. Расход раствора деэмульгатора из расчёта на чистый реагент составляет 5-8 г/т нефти.

Процесс электродегидратации основан на разрушении водонефтяной эмульсии под действием электрического поля. Капли воды, поляризуясь, объединяются в более крупные агрегаты и оседают на дно аппарата. Одновременно происходит коалесценция капель неразмываемой воды и выпадение части солей. Эффективность обессоливания достигает 90-95%.

3.2.2. Атмосферная перегонка

Обессоленная и обезвоженная нефть с температурой около 145°C поступает в колонну дегазации поз.Т-1104, где происходит отделение парогазовой фазы от жидкой фазы. Дегазированная нефть направляется в атмосферную печь поз.Ф-1101.

Нефть подаётся в камеру конвекции атмосферной печи двумя параллельными потоками с расходом 37-70 т/час по каждому потоку. Нефть двумя потоками проходит последовательно змеевики камеры конвекции и змеевики камеры радиации печи и выходит нагретой до температуры ~358°C.

Из атмосферной колонны поз. Т-1101 выводятся следующие фракции:

- Прямогонный бензин/нафта – ~2500 кг/час;
- Керосиновая фракция (155-270°C) – ~7350 кг/час;
- Дизельная фракция – смешивается с керосиновой фракцией;
- Мазут (кубовый остаток) – направляется в вакуумную печь.

Атмосферная перегонка позволяет отделить лёгкие фракции (бензин, керосин, дизельное топливо) от тяжёлых остатков (мазута). Температура в кубе атмосферной колонны не превышает 350°C, что предотвращает термическое разложение нефтяных фракций.

3.2.3. Вакуумная перегонка

Мазут с температурой ~345°C подаётся в вакуумную печь поз.Ф-1102 двумя параллельными потоками с расходом 29500÷59000 кг/час по каждому потоку. Мазут выходит из печи с температурой ~358°C и направляется в вакуумную колонну поз.Т-1102.

В вакуумной колонне происходит разделение мазута на фракции: 1. Лёгкий вакуумный дистиллят (ЛВД), выкипающий до 350°C; 2. Лёгкий вакуумный газойль (ЛВГ); 3. Тяжёлый вакуумный газойль (ТВГ); 4. Затемнённая вакуумная фракция (ЗВФ); 5. Кубовый остаток вакуумной перегонки – гудрон.

Приоритетное значение имеют характеристики гудрона, которые зависят как от качества исходного сырья, так и от глубины отбора тяжёлых вакуумных фракций (ТВГ и ЗВФ), определяющих остаточное содержание парафиновых углеводородов, групповой состав, вязкость, пенетрацию, температуру размягчения и температуру вспышки гудрона.

Вакуумная перегонка проводится при пониженном давлении (обычно 10-50 мм рт. ст.), что позволяет снижать температуру кипения фракций и избегать их термического разложения. Глубина вакуумирования определяет выход гудрона и его качество.

3.2.4. Компаундирование гудрона с ЗВФ

Гудрон проходит рекуперативные теплообменники поз.Е-1113А/В и поз.Е-1114, где нагревается до температуры ~284°C. После теплообменника поз.Е-1114 поток гудрона распределяется на два потока:

1. Первый основной поток поступает для дальнейшего охлаждения в теплообменник поз.Е-1115 и затем двумя потоками направляется на смешение с ЗВФ;

2. Третий поток гудрона после поз.Е-1114 проходит теплообменник поз.Е-1116А/В и с температурой 180°C направляется в резервуарный парк для отгрузки потребителям или на установку модифицирования битума.

Часть ЗВФ после теплообменника поз.Е-1112 направляется на смешение с гудроном:

• Второй поток ЗВФ после поз. Е-1112 направляется на смешение с гудроном на выходе поз.Е-1115 (после клапана поз.ФV-3202);

• Третий поток ЗВФ после поз. Е-1112 регулируется клапаном FV-3208 и направляется на смешение с гудроном на выходе поз.Е-1115 (до клапана поз.FV-3207).

Смесь гудрона с ЗВФ направляется в блок окисления для получения окисленного битума.

Процесс компаундирования позволяет гибко регулировать свойства сырья для окисления. Соотношение гудрон/ЗВФ может варьироваться в зависимости от требуемых характеристик конечного продукта и качества исходного сырья. Обычно добавление ЗВФ составляет 5-15% от массы гудрона.

3.3. Температурные режимы

3.3.1. Температурные параметры блока АВТ

Таблица 5 – Температурные режимы блока АВТ

Параметр	Значение
Температура нефти на входе в атмосферную печь, °С	~284
Температура нефти на выходе из атмосферной печи, °С	~358
Температура мазута на входе в вакуумную печь, °С	~345
Температура мазута на выходе из вакуумной печи, °С	~358
Температура гудрона на выходе из куба колонны, °С	~345
Температура гудрона после поз.Е-1115, °С	~230

3.3.2. Температурные параметры блока окисления

Технология получения окисленных битумов заключается в окислении гудрона кислородом воздуха без присутствия катализатора. Интервал температур составляет 230÷260°С; расход воздуха – 2,8÷5,5 м³/(м²·мин); продолжительность процесса (время пребывания в колонне) – 6-12 часов.

Оптимальной является температура около 250°С. При превышении этого значения температура размягчения и температура хрупкости битума повышаются, а пенетрация, растяжимость, теплостойкость и интервал пластичности окисленных битумов понижаются. При температуре выше 270°С понижается степень использования кислорода воздуха.

Таблица 6 – Температурные режимы блока окисления

Параметр	Значение
Температура гудрона на входе в колонну окисления, °С	230
Температура жидкой фазы в сепараторе, °С	~230
Температура газовой фазы в сепараторе, °С	~180
Температура битума на выходе из колонны, °С	200-250
Температура битума после охлаждения, °С	160

Температура окисления является критическим параметром процесса. При слишком низкой температуре скорость окисления недостаточна, при слишком высокой – происходит интенсивное образование карбенов и карбоидов, что ухудшает качество битума.

3.4. Последовательность ввода компонентов

1. Гудрон поступает в колонну окисления от теплообменника поз. Е-1115 в чистом виде или в смеси с потоком затемнённой вакуумной фракции (ЗВФ);

2. Гудрон на входе в колонну смешивается с охлаждённым рециркулятом окисленного битума (квенч);

3. В верхнюю часть окислительной колонны подаётся сжатый технологический воздух от компрессоров блока 30 под давлением 0,5 МПа;

4. Вода орошения подаётся в верхнюю часть колонны для понижения температуры и разбавления газов окисления;

5. Окисленный битум выводится с низа колонны, охлаждается и направляется в товарные резервуары.

Подача воздуха в колонну окисления осуществляется через распределительное устройство, обеспечивающее равномерное распределение газа по сечению колонны. Это важно для обеспечения равномерного окисления по всему объёму жидкой фазы.

3.5. Технологические особенности и ограничения

3.5.1. Система охлаждения (квенчинг)

Для поддержания температурного режима и отвода избыточного количества теплоты осуществляется циркуляция охлаждённого битума (квенч) на вход в колонну. Расход квенча контролируется регулятором с коррекцией от регулятора температуры низа колонны.

Система квенчинга позволяет поддерживать оптимальную температуру в реакционной зоне и предотвращать перегрев битума. Квенч представляет собой часть окисленного битума, которая охлаждается и возвращается на вход в колонну для смешения с поступающим гудроном.

3.5.2. Контроль остаточного кислорода

С целью оценки эффективности протекания реакций окисления производится непрерывный анализ газов окисления на содержание остаточного кислорода. При достижении концентрации кислорода равной 7% об. срабатывает предупредительная сигнализация. При дальнейшем повышении содержания кислорода в газах до 9% об. срабатывает аварийная сигнализация и блокируется подача воздуха в окислительную колонну.

Контроль остаточного кислорода необходим для предотвращения образования взрывоопасных смесей. При недостаточном расходе воздуха окисление протекает неполноценно, при избыточном – увеличиваются потери сырья с отходящими газами.

3.5.3. Ограничения процесса

- Максимальная температура в зоне окисления не должна превышать 270°C;
- Давление в секции сепарации контролируется с предупредительной сигнализацией при достижении 2,0 МПа;
- Количество отгона и потерь зависит от содержания летучих веществ в сырье, глубины окисления и находится в пределах 1,5÷2,5% масс. от сырья.

4. Методология

4.1. Используемые методы испытаний

Качество битума оценивается по следующим стандартизированным техническим показателям:

1. Пенетрация (проникание) – глубина проникания в битум стандартной иглы при определённом режиме (при 25°C, нагрузке 1000 Н, прилагаемой в течение 5 с.), измеряется в десятых долях миллиметра (1 ЕП = 0,1 мм). Пенетрация косвенно характеризует твёрдость и вязкость битума.

2. Температура размягчения – температура, при которой битумы из относительно твёрдого состояния переходят в жидкое (текучее) состояние. Испытание проводится методом «Кольцо и Шар» (КиШ).

3. Температура хрупкости (хрупкость по Фраасу) – температура, при которой материал разрушается под действием кратковременно приложенной нагрузки. Температура хрупкости характеризует поведение битума при низких температурах.

4. Растяжимость (дуктильность) – расстояние, на которое битум можно вытянуть при определённых условиях в нить до разрыва. Этот показатель косвенно характеризует силы межмолекулярного взаимодействия компонентов битума и его прилипаемость к различным материалам.

5. Индекс пенетрации – характеризует степень коллоидности битума (структура «золь», «гель» или «золь-гель»).

6. Адгезия (прилипание) – оценивается по степени покрытия битумом поверхности частиц щебня или гравия после обработки образца в кипящей воде.

7. Динамическая вязкость при температуре 60°C – характеризует консистенцию битума при рабочих температурах.

8. Кинематическая вязкость при температуре 135°C – характеризует текучесть битума при температурах укладки.

9. Устойчивость к старению при температуре 163°C – характеризует стабильность битума при продолжительном хранении при повышенных температурах.

4.2. Показатели качества и прочностные характеристики

Таблица 7 – Требования к качеству битума марки БНД 70/100

Показатель	Норма по СТ РК 1373-2013
Глубина проникания иглы при 25°C, 0,1 мм	61-90
Глубина проникания иглы при 0°C, 0,1 мм, не менее	20
Температура размягчения по КиШ, °C, не менее	47
Растяжимость при 25°C, см, не менее	150
Растяжимость при 0°C, см, не менее	35
Температура хрупкости по Фраасу, °C, не более	минус 15
Температура вспышки, °C, не ниже	230
Изменение температуры размягчения после прогрева, не более (абс. знач.)	5
Индекс пенетрации	от -1,0 до +1,0
Динамическая вязкость при 60°C, Па·с, не менее	90
Кинематическая вязкость при 135°C, мм ² /с, не менее	230
Изменение массы после прогрева, %, не более	0,8
Глубина проникания иглы после прогрева, % от исходной, не менее	50

Таблица 8 – Требования к качеству битума марки БНД 100/130

Показатель	Норма по СТ РК 1373-2013
Глубина проникания иглы при 25°C, 0,1 мм	91-130
Глубина проникания иглы при 0°C, 0,1 мм, не менее	28
Температура размягчения по КиШ, °C, не менее	43
Растяжимость при 25°C, см, не менее	65
Растяжимость при 0°C, см, не менее	4,0
Температура хрупкости по Фраасу, °C, не более	минус 17
Температура вспышки, °C, не ниже	230
Изменение температуры размягчения после прогрева, не более (абс. знач.)	5
Индекс пенетрации	от -1,0 до +1,0
Динамическая вязкость при 60°C, Па·с, не менее	75
Кинематическая вязкость при 135°C, мм ² /с, не менее	180
Изменение массы после прогрева, %, не более	0,8
Глубина проникания иглы после прогрева, % от исходной, не менее	46

4.3. Логическая связь между технологией и результатами

При окислении (термолизе) протекает множество реакций: окислительная полимеризация, дегидрирование, деалкилирование, поликонденсация, крекинг с последующим уплотнением его продуктов. В виду сложного строения высокомолекулярных углеводородов, химизм процесса окисления представляется по изменению соотношения основных групп веществ (масел, смол и асфальтенов).

Основная часть кислорода воздуха идёт на образование воды и углекислого газа, незначительная часть – на образование органических веществ, содержащих кислород. Нефтяные углеводороды окисляются одновременно в двух направлениях:

- Углеводороды масляных фракций → смолы → асфальтены → карбены → карбоиды;
- Образование кислот, оксикислот, асфальтеновых кислот.

С повышением содержания масел в битумах, а точнее соотношения «масла/асфальтены», повышаются значения пенетрации, текучести, испаряемости и понижаются значения температур размягчения, хрупкости и вязкости битумов.

5. Результаты и обсуждение

5.1. Интерпретация полученных данных

Анализ технологического процесса производства модифицированного битума на установке «ЭЛОУ-АВТ-БО» показывает, что компаундирование гудрона с затемнённой вакуумной фракцией позволяет достичь следующих эффектов:

1. Снижение парафинистости сырья – ЗВФ, имеющая повышенное содержание ароматических углеводородов, компенсирует высокое содержание парафинов в исходном гудроне. Согласно технологическому регламенту, повышенное содержание твёрдых парафинов (выше 3% вес.) в сырье понижает растяжимость битумов.

2. Улучшение реологических характеристик – пенетрация тем меньше, а растяжимость тем больше, чем выше глубина отбора масляных фракций из мазута. Компаундирование позволяет регулировать это соотношение.

3. Оптимизация температурных характеристик – утяжеление гудрона путём компаундирования с ЗВФ позволяет одновременно снижать его парафинистость и повышать ароматизированность, а также регулировать фракционный состав гудрона, направляемого на окисление.

5.2. Влияние вторичного сырья на эксплуатационные свойства асфальтобетона

Применение модифицированного битума, полученного с использованием ЗВФ, положительно влияет на эксплуатационные свойства асфальтобетонных покрытий:

1. Повышение морозостойкости – снижение содержания парафиновых углеводородов улучшает показатели температуры хрупкости по Фраасу. Для битума марки БНД 70/100 температура хрупкости составляет не более минус 15°C, для марки БНД 100/130 – не более минус 17°C.

2. Улучшение адгезионных свойств – с повышением молекулярной массы асфальтенов, входящих в состав битума, его адгезионные свойства улучшаются. Адгезия битумов зависит также от полярности компонентов битума (асфальтенов и мальтенов).

3. Повышение теплостойкости – оптимальное соотношение компонентов битума обеспечивает стабильность характеристик при повышенных температурах. Битумы, окисленные при оптимальной температуре около 250°C, характеризуются высокой пенетрацией и растяжимостью.

4. Увеличение долговечности покрытия – показатели устойчивости к старению (изменение массы после прогрева, изменение пенетрации после прогрева) характеризуют поведение битумов в процессе эксплуатации и срок службы асфальтобетонного покрытия.

5.3. Сравнительный анализ

Сравнительный анализ характеристик гудрона и ЗВФ показывает их комплементарность для процесса компаундирования:

Таблица 9 – Сравнительные характеристики гудрона и ЗВФ

Показатель	Гудрон	ЗВФ
Плотность при 20°C, кг/м ³	999	962,6
Вязкость кинематическая при 20°C, мм ² /сек	18800	24
Температура размягчения по КиШ, °C	40-50	–
Содержание серы, % масс.	3,39	1,78
Температура вспышки, °C	167	164

Гудрон характеризуется высокой вязкостью и содержанием тяжёлых углеводородов, в то время как ЗВФ имеет значительно меньшую вязкость и может выступать в качестве регулятора текучести смеси. Различия в фракционном составе (гудрон – остаточный продукт с температурой начала кипения не более 495°C, ЗВФ – дистиллят с 96% перегоняющимся при температуре не более 565°C) позволяют оптимизировать групповой состав смеси для окисления.

6. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ

6.1. Экологические аспекты

Использование вторичного сырья в производстве битума имеет следующие экологические преимущества:

1. Рациональное использование ресурсов – ЗВФ, являющаяся побочным продуктом вакуумной перегонки, вовлекается в производство вместо утилизации или сжигания.

2. Снижение выбросов – комплексная переработка нефти позволяет минимизировать количество отходов. Хвостовые газы окисления направляются в печь дожига поз. F-1201 для обезвреживания.

3. Энергосбережение – рекуперация тепла в теплообменниках позволяет снизить энергозатраты на нагрев сырья.

4. Очистка стоков – солевые стоки ЭЛОУ после охлаждения направляются на очистные сооружения для предварительной очистки.

Применение технологии компаундирования способствует снижению экологической нагрузки на окружающую среду. Использование внутризаводских побочных продуктов снижает потребность в их утилизации или сжигании, что уменьшает выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Кроме того, энергосберегающие технологии рекуперации тепла позволяют снизить расход топлива и, соответственно, выбросы парниковых газов.

6.2. Экономические аспекты

Экономическая эффективность использования вторичного сырья обусловлена:

1. Повышением выхода целевой продукции – комплексное использование всех фракций нефти позволяет максимизировать выход битума.

2. Снижением затрат на сырьё – использование внутризаводского побочного продукта (ЗВФ) снижает потребность в дополнительных компонентах.

3. Гибкостью производства – возможность регулирования соотношения гудрон/ЗВФ позволяет адаптировать процесс под изменяющееся качество исходной нефти.

4. Расширением номенклатуры – гудрон может направляться как на производство окисленного битума, так и на установку модифицированных битумов (УМБ) в качестве основы (матрицы) для получения полимермодифицированных битумов.

Экономический эффект от внедрения технологии компаундирования складывается из нескольких составляющих. Во-первых, снижаются затраты на закупку дополнительных компонентов для модификации битума. Во-вторых, повышается выход товарной продукции за счёт использования ранее неиспользуемых фракций. В-третьих, снижаются энергозатраты благодаря оптимизации температурных режимов процесса окисления.

7. Заключение

7.1. Основные выводы

В результате проведённого исследования технологии производства модифицированного битума с использованием вторичного сырья на установке «ЭЛОУ-АВТ-БО» установлено следующее:

1. Компаундирование гудрона с затемнённой вакуумной фракцией (ЗВФ) является эффективным способом модификации битумных вяжущих, позволяющим улучшить их эксплуатационные характеристики.

2. Утяжеление гудрона путём компаундирования с ЗВФ позволяет одновременно снижать его парафинистость и повышать ароматизированность, а также регулировать фракционный состав гудрона, направляемого на окисление.

3. Оптимальная температура окисления составляет около 250°C; при превышении этого значения температура размягчения и температура хрупкости битума повышаются, а пенетрация, растяжимость, теплостойкость и интервал пластичности окисленных битумов понижаются.

4. Получаемые битумы марок БНД 70/100 и БНД 100/130 соответствуют требованиям стандарта СТ РК 1373-2013 и пригодны для применения в качестве вяжущих при изготовлении асфальтобетона.

5. Использование вторичного сырья в производстве битума имеет положительные экологические и экономические последствия, способствуя рациональному использованию ресурсов и снижению себестоимости продукции.

7.2. Научная новизна

Научная новизна работы заключается в:

1. Систематизации технологических параметров процесса компаундирования гудрона с ЗВФ для производства модифицированных битумов.

2. Установлении взаимосвязи между групповым составом смеси гудрон/ЗВФ и эксплуатационными характеристиками конечного продукта.

3. Разработке рекомендаций по оптимизации технологического процесса с учётом влияния вторичного сырья на качество битума.

4. Комплексном анализе экологических и экономических аспектов использования вторичного сырья в производстве битума.

7.3. Практическая применимость результатов

Результаты исследования могут быть применены:

1. На действующих установках производства битума для оптимизации технологических режимов.

2. При проектировании новых производств битумных материалов с использованием компаундирования.

3. Для разработки технических регламентов и стандартов на производство модифицированных битумов.

4. В учебном процессе при подготовке специалистов в области нефтепереработки и дорожного строительства.

5. Для повышения конкурентоспособности продукции на рынке дорожных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технологический регламент установки «ЭЛОУ-АВТ и БО». S-0100-1200-001. Экз. 01. ТОО «СП «CASPI BITUM», 2021. – 242 с.

2. Пискунов, И.В., Панкин, А.А. and Башкирцева, Н.Ю., 2022. Математическое моделирование процессов производства нефтяных окисленных битумов (обзор). Вестник технологического университета, 25(4), pp.83-94.

3. СТ РК 1373-2013. Битумы и битумные вяжущие. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия.

4. ГОСТ 33133-2014. Дороги автомобильные общего назначения. Битумы нефтяные дорожные вязкие.

5. ГОСТ 22245-90. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия.

6. ГОСТ Р 51858-2002. Нефть сырая. Общие технические условия.

Сведения об авторах (на трех языках):

Садуакасова Жансулу Сергазиевна – магистр, КарТУ им. Абылкаса Сагинова, zhansulu.saduakassova@mail.ru

Садуакасова Жансулу Сергазиевна – магистр, КарТУ им. Абылкаса Сагинова, zhansulu.saduakassova@mail.ru

Zhansulu Saduakassova – Master's degree holder, Abylkaas Saginov Karaganda Technical University, zhansulu.saduakassova@mail.ru

Кропачев Петр Александрович – профессор, КарТУ им. Абылкаса Сагинова, p.kropachev@ktu.edu.kz

Кропачев Петр Александрович – профессор, КарТУ им. Абылкаса Сагинова, p.kropachev@ktu.edu.kz

Petr Kropachev – Professor, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, p.kropachev@ktu.edu.kz

Жакина Алма Хасеновна – профессор, ТОО «Институт органического синтеза и углехимии Республики Казахстан», alzhakina@mail.ru

Жакина Алма Хасеновна – профессор, ТОО «Институт органического синтеза и углехимии Республики Казахстан», alzhakina@mail.ru

Alma Zhakina – Professor, LLP “Institute of Organic Synthesis and Coal Chemistry of the Republic of Kazakhstan”, alzhakina@mail.ru

Мурат Каракасу – профессор, Ескишехирский университет им. Османгазы, muratk@ogu.edu.tr

Мурат Каракасу – профессор, Ескишехирский университет им. Османгазы, muratk@ogu.edu.tr

Murat Karakasu – Professor, Eskisehir Osmangazi University, muratk@ogu.edu.tr

Вклад авторов:

Садуакасова Жансулу Сергазиевна – сбор данных, анализ, подготовка текста.

Кропачев Петр Александрович – концепция, методология, научное руководство.

Жакина Алма Хасеновна – анализ, интерпретация результатов.

Мурат Каракасу – рецензирование, научная консультация.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

**ЕКІНШІЛІК ШИКІЗАТТЫ ПАЙДАЛАНУ АРҚЫЛЫ АСФАЛЬТБЕТОН
ҚАПТАМАЛАРЫ ҮШІН МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН БИТУМДЫ ӨНДІРУ
ТЕХНОЛОГИЯСЫН ӘЗІРЛЕУ**

Ж. С. Садуакасова^{1*}, П. Кропачев¹, А. Жакина², М. Каракасу³

¹Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ.,
Қазақстан;

²«Қазақстан Республикасы органикалық синтез және көмір химиясы институты» ЖШС,
Қазақстан;

³Османгазы атындағы Ескишехир университеті, Түркия

*Хат-хабарға жауапты автор: zhansulu.saduakaso@mail.ru

Аңдатпа. Бұл жұмыста екіншілік шикізатты пайдалану арқылы асфальтбетон жабындары үшін модификацияланған битум өндіру технологиясын зерттеу нәтижелері келтірілген. Зерттеу «СП «CASPI BITUM» ЖШС битум зауытындағы «ЭЛОУ-АВТ-БО» кешенді қондырғысы негізінде жүргізілген. Бастапқы шикізаттың сипаттамалары, гудронды тотықтыру үдерісінің технологиялық параметрлері, сондай-ақ қараңғыланған вакуумдық фракциямен компаундтау процесінің соңғы өнім сапасына әсері талданды. Зертханалық сынақ нәтижелері алынған БНД 70/100 және БНД 100/130 маркалы битумдардың СТ РК 1373-2013 стандарты талаптарына сәйкестігін көрсетті. Вакуумдық дистилляттар түріндегі екіншілік шикізатты қолдану өндірістің технологиялық параметрлерін оңтайландыруға және битумдық байланыстырғыштардың пайдалану қасиеттерін жақсартуға мүмкіндік беретіні анықталды. Сонымен қатар, екіншілік

шикізатты пайдаланудың экологиялық және экономикалық аспектілеріне талдау жүргізіліп, технологиялық процесті жетілдіру бойынша ұсыныстар әзірленді.

Түйінді сөздер: модификацияланған битум, екіншілік шикізат, гудронды тотықтыру, компаундтау, асфальтбетон жабындары, вакуумдық айдау, қараңғыланған вакуумдық фракция, БНД 70/100, БНД 100/130, технологиялық регламент.

DEVELOPMENT AND TECHNOLOGY OF PRODUCTION OF MODIFIED BITUMEN FOR ASPHALT CONCRETE PAVEMENTS USING RECYCLED MATERIALS

Zh. S. Saduakasova^{1*}, P. Kropachev¹, A. Zhakina², M. Karakasu³

¹Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan;

²Institute of Organic Synthesis and Coal Chemistry of the Republic of Kazakhstan LLP, Kazakhstan;

³Eskisehir Osmangazi University, Turkey

*Corresponding author: zhansulu.saduakasova@mail.ru

Abstract. This paper presents the results of research on the technology of producing modified bitumen for asphalt concrete pavements using recycled materials based on the integrated unit “ELOU-AVT-BO” of the bitumen plant LLP “SP “CASPI BITUM”. The characteristics of raw materials, technological parameters of the tar oxidation process, and the effect of compounding with a dark vacuum fraction on the quality of the final product are analyzed. Laboratory test results confirming compliance of the obtained bitumen grades BND 70/100 and BND 100/130 with the requirements of ST RK 1373-2013 are presented. It was established that the use of recycled raw materials in the form of vacuum distillates allows optimization of technological production parameters and improvement of the performance characteristics of bitumen binders. Environmental and economic aspects of using recycled materials in bitumen production are analyzed, and recommendations for optimizing the technological process are developed.

Keywords: modified bitumen, recycled materials, tar oxidation, compounding, asphalt concrete pavements, vacuum distillation, dark vacuum fraction, BND 70/100, BND 100/130, technological regulation.



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



МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТИ И МОРОЗОСТОЙКОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ БЕТОНОВ

Жылкышбаева Н.Б.¹, Смагулова М.К.^{1*}, Женисов Т.С.¹, Пиршаев Д.К.¹,
Алданазаров М.Н.¹

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

*Корреспондент автор: smagulovamariya98@gmail.com

Аннотация. В статье рассматриваются современные методы повышения водонепроницаемости и морозостойкости гидротехнических бетонов. Проанализированы зарубежные технологии, применяемые в суровых климатических условиях Канады, Японии и Норвегии, включая использование пуццолановых и шлаковых добавок, интегральной кристаллической гидроизоляции, ультравысокопрочных волокнистых композитов (UHPFRC) и оптимизированных систем воздушных пор. Обсуждаются механизмы действия добавок, их влияние на микроструктуру бетона, долговечность и стойкость к агрессивным воздействиям, включая циклы замораживания–оттаивания и проникновение солей. Делается вывод о необходимости комплексного подхода, сочетающего технологические, материаловедческие и эксплуатационные решения, а также перспективе внедрения композитных систем с наномодификаторами и цифровых инструментов для прогнозирования ресурса конструкций в условиях Казахстана.

Ключевые слова: гидротехнический бетон, водонепроницаемость, морозостойкость, пуццолановые добавки, кристаллическая гидроизоляция.

Введение

Долговечность гидротехнических сооружений — один из ключевых факторов их безопасной и экономически эффективной эксплуатации. Плотины, шлюзы, морские волноломы, каналы и причальные сооружения подвергаются постоянному воздействию воды, перепадам температур, механическим нагрузкам и агрессивным химическим средам. В условиях климатических колебаний, характерных для северных регионов и высокогорных зон, на первый план выходят два взаимосвязанных свойства бетона — водонепроницаемость и морозостойкость.

Нарушение водонепроницаемости приводит к проникновению влаги в поры и капилляры бетона, что не только ускоряет процессы коррозии арматуры, но и создает предпосылки для разрушения материала при замерзании. В условиях циклического замораживания и оттаивания вода, находящаяся в порах бетона, кристаллизуется, увеличивается в объеме и создает внутренние напряжения, приводящие к появлению трещин и потере прочности. Со временем это может вызвать ускоренное старение конструкций, снижение их эксплуатационной надежности и даже аварийные ситуации.

В последние десятилетия в мировой строительной практике активно развиваются методы модификации бетонов с целью повышения их устойчивости к воздействию воды и низких температур. Разрабатываются и применяются химические добавки, минеральные микро- и наномодификаторы, а также комплексные минеральные вяжущие, которые

позволяют целенаправленно изменять микроструктуру цементного камня, снижать пористость и повышать плотность материала.

Особый интерес представляют зарубежные технологии, уже прошедшие испытания в реальных условиях эксплуатации. Так, в Норвегии и Канаде разработаны составы бетонов для гидротехнических объектов, успешно работающих при экстремальных морозах и высоком воздействии солей. В Японии реализованы решения для морских сооружений с применением нанодиоксида титана, обеспечивающего дополнительную защиту от проникновения влаги и агрессивных веществ. В Китае внедрены системы модификации бетонов для плотин и гидроузлов, работающих в условиях высокогорья, где сочетаются низкие температуры и повышенное ультрафиолетовое излучение.

Цель данной работы – систематизировать и проанализировать современные методы повышения водонепроницаемости и морозостойкости гидротехнических бетонов, рассмотреть эффективность различных добавок и модификаторов на примере международного опыта, а также определить возможности адаптации этих технологий для климатических и ресурсных условий Казахстана.

Методология

В ряде проектов компании Hydro-Québec, а также на гидроузлах, расположенных в провинции Британская Колумбия, внедрены составы гидротехнических бетонов, ориентированные на обеспечение повышенной плотности структуры и долговечности в условиях многократных циклов замораживания–оттаивания. Основой данных технологий является снижение водоцементного отношения до уровня 0,35–0,40, что существенно уменьшает капиллярную проницаемость и ограничивает проникновение влаги в поровую систему цементного камня.

В качестве минеральных компонентов широко применяются пуццолановые добавки в оптимизированных дозировках: зола-уноса в количестве 15–20 % от массы вяжущего и микрокремнезем в объёме 5–8 %. Их использование способствует заполнению микропор, интенсификации вторичной гидратации и формированию дополнительного гидросиликата кальция (C–S–H), что в совокупности улучшает как водонепроницаемость, так и морозостойкость.

Дополнительно в состав включается до 40 % доменного гранулированного шлака (GGBS), обеспечивающего медленный, но равномерный набор прочности и значительное уплотнение структуры на поздних сроках твердения. Применение GGBS также повышает стойкость бетона к сульфатной коррозии, что является важным фактором для гидротехнических сооружений, эксплуатируемых в условиях воздействия минерализованных и агрессивных водных сред [1].

Для эксплуатации в условиях частых циклов замораживания-оттаивания (F/T) канадские нормативные подходы предусматривают формирование в структуре затвердевшего бетона оптимальной системы замкнутых воздушных пор. Целевое содержание вовлечённого воздуха устанавливается в диапазоне 5-7 %, при этом контролируется параметр spacing factor (среднее расстояние между порами), который должен быть не более 200 мкм. Подобная конфигурация воздушной системы обеспечивает наличие достаточного объёма резервных полостей для компенсации расширения воды при замерзании, минимизируя внутренние напряжения и риск микротрещинообразования.

Для достижения требуемых характеристик используют воздухововлекающие добавки на основе смол древесных кислот, отличающиеся стабильностью формирования пор при различных температурах замеса и твердения. Применение таких добавок сопровождается введением совместимых суперпластификаторов, которые не нарушают устойчивость воздушной структуры и позволяют сохранять высокую удобоукладываемость смеси при пониженном водоцементном отношении.

Контроль параметров воздушной системы осуществляется как на стадии свежей смеси (с использованием полевых методов, например, давления по ASTM C231), так и в затвердевшем бетоне — методом линейного сечения и подсчёта пор по стандарту ASTM C457. Такой двухэтапный мониторинг позволяет своевременно корректировать технологические параметры и обеспечивать стабильное качество бетона при серийном производстве [2].

Дополнительным направлением повышения долговечности гидротехнических сооружений в Канаде, особенно на удалённых объектах с ограниченным доступом для проведения ремонтных работ, является применение интегральной кристаллической гидроизоляции (торговые марки Хурех, Kryton и др.). Данные материалы вводятся в состав бетонной смеси в виде сухих порошковых добавок либо применяются в качестве поверхностных пропиток на ранних стадиях твердения.

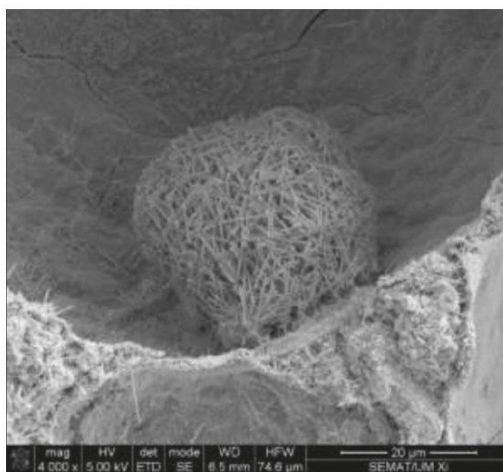


Рисунок 1 – Микроструктура бетонной матрицы с кристаллической гидроизоляцией (Хурех), 28 сут, $\times 5000$ SEM-изображение, демонстрирующее заполнение пор нерастворимыми кристаллами, препятствующими проникновению воды и агрессивных ионов

Механизм их действия основан на росте нерастворимых кристаллических соединений в капиллярно-поровой структуре цементного камня. Эти кристаллы формируются в результате взаимодействия активных компонентов добавки с продуктами гидратации цемента и ионами, присутствующими в поровой жидкости. Заполняя микропоры и капилляры, они создают плотный барьер, препятствующий миграции воды и растворённых солей.

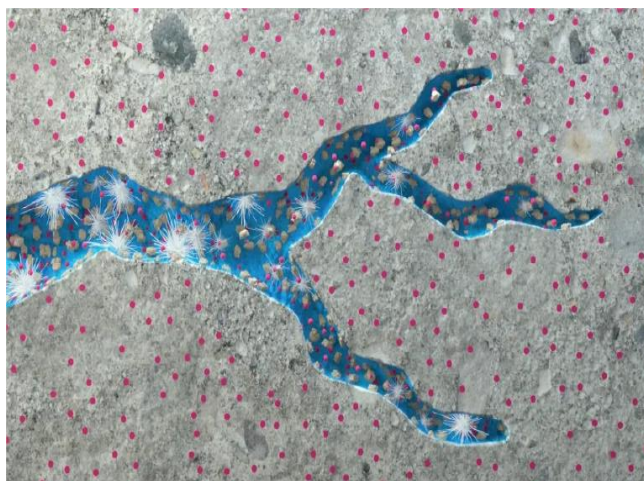


Рисунок 2 – Схема механизма действия интегральной кристаллической гидроизоляции. Показано проникновение активных химических соединений в поры бетона и образование кристаллической структуры в результате взаимодействия с гидратированными продуктами цемента.

Ключевым преимуществом такой технологии является самозалечивание — при повторном контакте с влагой кристаллизационный процесс возобновляется, что позволяет блокировать микротрещины шириной до 0,4 мм и тем самым восстанавливать водонепроницаемость материала без внешнего вмешательства. Практика применения показала, что подобная система эффективно снижает коэффициент водопоглощения и коэффициент фильтрации, а также увеличивает срок службы бетона в условиях переменного увлажнения и действия напорной воды [3].

В условиях сурового климата северных районов провинции Квебек, где гидротехнические сооружения подвержены интенсивным циклам заморозания–оттаивания, обледенению и воздействию ледохода, особое внимание уделяется защите поверхностей бетона от прямого контакта с влагой и резких температурных колебаний.

На ряде плотин и водосбросных сооружений были испытаны и внедрены следующие решения:

- Мембранные покрытия на основе полиуретана или поливинилхлорида (ПВХ), образующие сплошной водонепроницаемый барьер и предотвращающие проникновение влаги в поверхностные слои бетона.

- Напыляемые эластомерные слои, которые обеспечивают дополнительную гибкость защитного покрытия, снижают температурные градиенты и, как следствие, уменьшают риск термического растрескивания.

- Гранулированные изоляционные материалы (минеральные или полимерные), размещаемые в зонах брызгового воздействия, что позволяет снизить интенсивность циклического обводнения и обмерзания бетонных элементов.

Испытания показали, что комплексное применение таких покрытий и изоляционных систем позволяет увеличить срок службы конструкций на 20–30 %, снижая темпы деградации бетона в зонах переменного уровня воды и ледового воздействия [4].

Результаты

Результаты эксплуатационных наблюдений и лабораторных испытаний, проведённых на ряде гидротехнических объектов Канады, свидетельствуют о значительном улучшении долговечных характеристик бетона при комплексном применении пуццолановых добавок и интегральной кристаллической гидроизоляции. В частности, зафиксированы следующие показатели:

– Рост марки по водонепроницаемости с W8 до W16, что обусловлено совместным эффектом уплотнения цементного камня пуццоланами и закупорки капиллярных пор кристаллообразующими компонентами.

– Повышение морозостойкости с F300 до F600 при оптимизации системы воздушных пор, что позволяет значительно увеличить ресурс бетона в условиях частых циклов заморозания-оттаивания.

– Снижение проникновения хлоридов на 50-70 % по результатам испытаний в соответствии с методикой RCPT (ASTM C1202), что является ключевым фактором в предотвращении коррозии арматуры в зонах переменного уровня воды.

Таким образом, канадская практика демонстрирует, что интеграция минеральных добавок и современных систем глубокой гидроизоляции позволяет существенно повысить водонепроницаемость, морозостойкость и стойкость к хлоридной агрессии в условиях сурового климата [4].

В Японии активно развиваются технологии Ultra-High Performance Fiber Reinforced Cementitious Composites (UHPFRC), которые сочетают в себе высокую прочность, низкую пористость и способность противостоять трещинообразованию. Эти материалы характеризуются развитием микроструктуры, уплотнённой за счёт образования C-S-H и волокон, создающих воздействие «strain-hardening» при растяжении. В частности, исследования UHPFRC, имеющих плотную матрицу, подтверждают его низкую проницаемость и высокую стойкость в сложных условиях эксплуатации – в том числе под воздействием влаги и трещин. Применение таких композитов предлагает новый уровень защиты гидротехнических элементов [5].

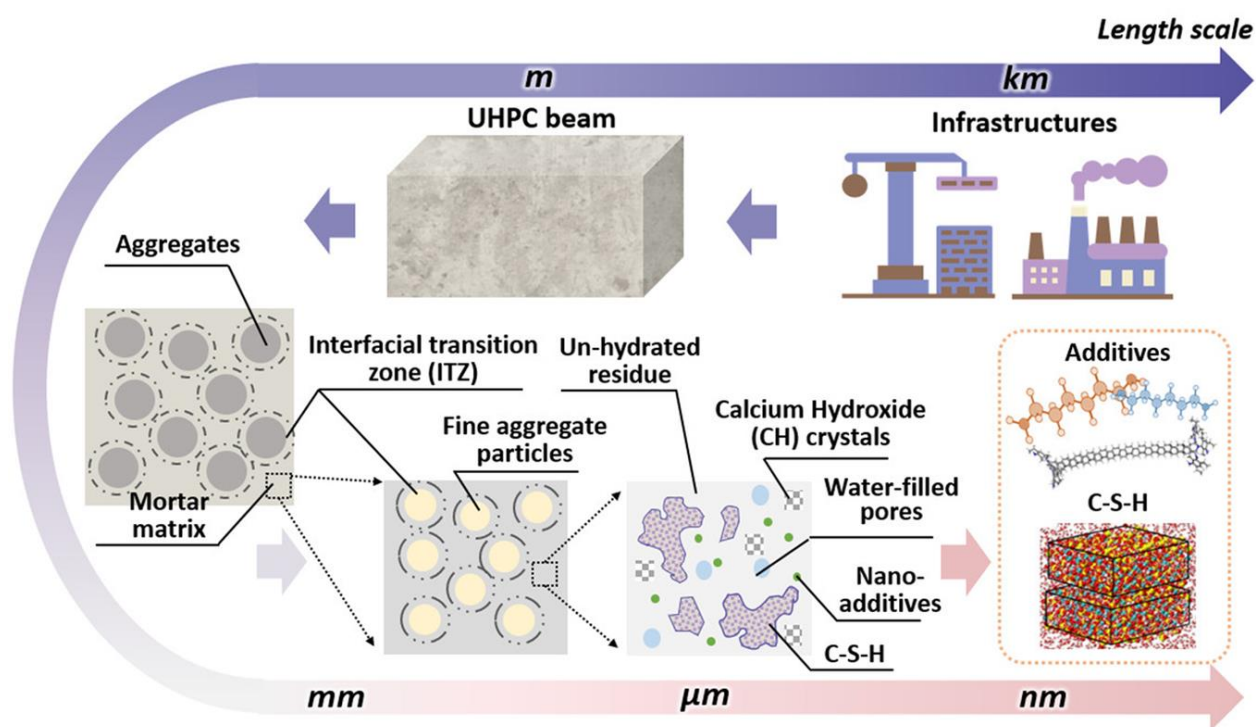


Рисунок 3 – Мультимасштабная модель структуры сверхвысокопрочного бетона (УНПС) поясняет взаимодействие компонентов на макро-, микро- и наноуровнях, включая распределение стальных волокон, ультрамелких частиц и продукты гидратации

Исследования, проведённые в рамках Японского общества по бетону, фокусируются на поведении бетонных конструкций под действием циклов замораживания-оттаивания. В частности, в моделировании учитываются "ice-strengthening" эффекты – когда замороженная вода в порах может кратковременно повышать прочность и жёсткость конструкции при статических и усталостных нагрузках. Эти данные полезны для

понимания долговечности бетонных сооружений в холодных гидродинамических условиях [6].

Японские исследования показывают, что усадкоуменьшающие добавки могут негативно влиять на морозостойкость бетона. Их использование может препятствовать полному гидратационному процессу и ухудшать распределение воздуха в системе пор. Это приводит к более грубой поровой структуре и увеличению восприимчивости к мельчайшим трещинам при замораживании. Таким образом, выбор добавок должен контролироваться с учётом их влияния не только на усадочные процессы, но и на долговечность при F/T-циклах [7].

Таблица 1 – Сравнительные характеристики технологий повышения долговечности бетона

Страна	Основные технологии и подходы	Эффект на характеристики бетона	Особенности применения
Канада	- Воздухововлекающие добавки на основе смол древесных кислот, контроль воздуха (ASTM C457). - Интегральная кристаллическая гидроизоляция (Хурех, Kryton). - Мембранные и напыляемые покрытия, гранулированные изоляционные слои. - Совмещение пуццолановых добавок и кристаллической гидроизоляции.	- Увеличение W_c с W_8 до W_{16} . - Повышение морозостойкости с F_{300} до F_{600} . - Снижение проникновения хлоридов на 50–70 % (RCPT).	- Широко используется в северных районах с частыми F/T-циклами. - Применяется на объектах с ограниченным доступом к ремонту. - Акцент на комплексной защите от влаги и солей.
Япония	- Использование UHPFRC (ультравысокопрочный волокнистый бетон). - Мультимасштабное моделирование F/T-поведения бетона («ice-strengthening») - Комплексная оценка добавок по усадке и морозостойкости.	- Существенное снижение водопоглощения. - Минимизация образования трещин. - Повышение долговечности при переменных температурах.	- Приоритет долговечности над стоимостью. - Используется для особо ответственных гидротехнических сооружений. - Акцент на научно обоснованном подборе добавок.

Выводы

Проведённый обзор показал, что повышение водонепроницаемости и морозостойкости гидротехнических бетонов является комплексной задачей, требующей сочетания технологических, материаловедческих и эксплуатационных решений. Опыт Норвегии демонстрирует эффективность комплексных минеральных вяжущих и оптимизированных воздухововлекающих систем для работы в условиях интенсивного воздействия морской воды и чередующихся циклов замораживания-оттаивания. Канадские подходы акцентируют внимание на снижении водоцементного отношения, широком применении пуццолановых и шлаковых добавок, интегральной кристаллической гидроизоляции, а также на систематическом контроле воздушной пористости и внедрении защитных покрытий для критических зон конструкций.

Японская практика ориентирована на использование ультравысокопрочных волокнистых композитов (UHPFRC), мультимасштабного моделирования процессов

деградации и продуманного подбора модификаторов с учётом их влияния на морозостойкость и усадочные деформации. Такой интегрированный подход обеспечивает не только высокий уровень начальной прочности и плотности структуры, но и долговременную стабильность эксплуатационных свойств бетона.

Анализ показал, что в странах с различными климатическими и эксплуатационными условиями *convergent*-стратегией является снижение капиллярной проницаемости, оптимизация структуры пор и формирование механизмов самозалечивания микротрещин. Перспективными направлениями дальнейших исследований являются разработка композиционных систем, объединяющих наномодификаторы, кристаллические гидроизоляционные компоненты и адаптивные полимерные покрытия, а также внедрение цифровых инструментов для прогнозирования ресурса гидротехнических сооружений на стадии проектирования.

Список литературы

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.

2 Hooton, R.D. et al., "Performance of air-entrained concretes in Canadian freeze-thaw environments", *ACI Materials Journal*, 2015.

3 Pour-Ghaz, M., Isgor, O.B., "Evaluation of crystalline waterproofing admixtures in concrete structures", *Cement and Concrete Composites*, 2014.

4 Ballivy, G., "Thermal insulation of hydraulic concrete dams: Modelling and field application", *Canadian Journal of Civil Engineering*, 1995.

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

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

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

Сведения об авторах (на трех языках):

Жылкышбаева Назым Болатбековна – жетекші инженер, Астана қ. сынақ зертханасы, «Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты» АҚ, Астана, Қазақстан, n.zhylkyshbaeva@qazjolgzi.kz

Жылкышбаева Назым Болатбековна – ведущий инженер, Испытательная лаборатория г. Астаны, АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт», Астана, Казахстан, n.zhylkyshbaeva@qazjolgzi.kz

Zhylkyshbayeva Nazym – Leading Engineer, Testing Laboratory of Astana, Kazakhstan Highway Research Institute JSC, Astana, Kazakhstan, n.zhylkyshbaeva@qazjolgzi.kz

Смагулова Мария Кусаиновна – кіші ғылыми қызметкер, Ғылымды дамыту департаменті, «Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты» АҚ, Астана, Қазақстан, m.smagulova@qazjolgzi.kz

Смагулова Мария Кусаиновна – младший научный сотрудник, Департамент развития науки, АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт», Астана, Казахстан, m.smagulova@qazjolgzi.kz

Smagulova Mariya – Junior Researcher, Department of Science Development, Kazakhstan Highway Research Institute JSC, Astana, Kazakhstan, m.smagulova@qazjolgzi.kz

Женисов Темирлан Сериктаевич – инженер, Астана қ. сынақ зертханасы, «Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты» АҚ, Астана, Қазақстан, t.zhenissov@qazjolgzi.kz

Женисов Темирлан Сериктаевич – инженер, Испытательная лаборатория г. Астаны, АО «Казакстанский дорожный научно-исследовательский институт», Астана, Казахстан, t.zhenissov@qazjolgzi.kz

Zhenissov Temirlan – Engineer, Testing Laboratory of Astana, Kazakhstan Highway Research Institute JSC, Astana, Kazakhstan, t.zhenissov@qazjolgzi.kz

Пиршаев Досбол Калназарович – жетекші инженер, Астана қ. сынақ зертханасы, «Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты» АҚ, Астана, Қазақстан, d.pirshayev@qazjolgzi.kz

Пиршаев Досбол Калназарович – ведущий инженер, Испытательная лаборатория г. Астаны, АО «Казакстанский дорожный научно-исследовательский институт», Астана, Казахстан, d.pirshayev@qazjolgzi.kz

Pirshayev Dosbol – Leading Engineer, Testing Laboratory of Astana, Kazakhstan Highway Research Institute JSC, Astana, Kazakhstan, d.pirshayev@qazjolgzi.kz

Алданазаров Мухтар Нургисаевич – инженер, Астана қ. сынақ зертханасы, «Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты» АҚ, Астана, Қазақстан, m.aldanazarov@qazjolgzi.kz

Алданазаров Мухтар Нургисаевич – инженер, Испытательная лаборатория г. Астаны, АО «Казакстанский дорожный научно-исследовательский институт», Астана, Казахстан, m.aldanazarov@qazjolgzi.kz

Aldanazarov Mukhtar – Engineer, Testing Laboratory of Astana, Kazakhstan Highway Research Institute JSC, Astana, Kazakhstan, m.aldanazarov@qazjolgzi.kz

Вклад авторов:

Жылкышбаева Назым Болатбековна – концепция исследования, методология, организация экспериментальных работ.

Смагулова Мария Кусаиновна – анализ данных, подготовка текста, научное редактирование.

Женисов Темирлан Сериктаевич – проведение лабораторных испытаний, сбор данных.

Пиршаев Досбол Калназарович – контроль качества экспериментов, интерпретация результатов.

Алданазаров Мухтар Нургисаевич – участие в испытаниях, обработка результатов.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

ГИДРОТЕХНИКАЛЫҚ БЕТОНДАРДЫҢ СУ ӨТКІЗБЕЙТІНДІГІ МЕН АЯЗҒА ТӨЗІМДІЛІГІН АРТТЫРУ ӘДІСТЕРІ

Жылкышбаева Н.Б.¹, Смагулова М.К.^{1*}, Женисов Т.С.¹, Пиршаев Д.К.¹, Алданазаров М.Н.¹

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

*Корреспондент автор: smagulovamariya98@gmail.com

Андатпа. Мақалада гидротехникалық бетондардың су өткізбейтіндігін және аязға төзімділігін арттырудың заманауи әдістері қарастырылған. Канада, Жапония және

Норвегияның қатал климаттық жағдайларында қолданылатын шетелдік технологиялар, соның ішінде пуццоландық және шлақтық қоспаларды пайдалану, интегралды кристалдық гидрооқшаулау, ультражоғары берікті талшықты композиттер (UHPFRC) және оңтайландырылған ауа кеуектері жүйелері талданған. Қоспалардың әсер ету механизмдері, олардың бетонның микроқұрылымына, ұзақ мерзімділігіне және агрессивті әсерлерге төзімділігіне, соның ішінде мұздату–еріту циклдері мен тұздардың енуіне ықпалы қарастырылады. Қазақстан жағдайында құрылымдардың қызмет ету мерзімін болжауға арналған наномодификаторлары бар композиттік жүйелерді және цифрлық құралдарды енгізу перспективасымен қатар, технологиялық, материалтанулық және пайдалану шешімдерін біріктіретін кешенді тәсілдің қажеттілігі туралы қорытынды жасалған.

Түйінді сөздер: гидротехникалық бетон, су өткізбейтіндік, аязға төзімділік, пуццоландық қоспалар, кристалдық гидрооқшаулау.

METHODS FOR IMPROVING WATER RESISTANCE AND FROST RESISTANCE OF HYDRAULIC CONCRETE

Zhylykshbayeva N.¹, Smagulova M.^{1*}, Zhenissov T.¹, Pirshayev D.¹, Aldanazarov M.¹

¹Kazakhstan Highway Research Institute JSC, Astana, Kazakhstan

*Corresponding author: smagulovamariya98@gmail.com

Abstract. The article discusses modern methods for improving the water resistance and frost resistance of hydraulic concrete. Foreign technologies used in harsh climatic conditions of Canada, Japan, and Norway are analyzed, including the use of pozzolanic and slag additives, integral crystalline waterproofing, ultra-high-performance fiber-reinforced composites (UHPFRC), and optimized air-void systems. The mechanisms of action of additives, their influence on the microstructure of concrete, durability, and resistance to aggressive воздействия, including freeze–thaw cycles and salt penetration, are discussed. The study concludes that a comprehensive approach combining technological, material science, and operational solutions is required, as well as the перспективы внедрения composite systems with nanomodifiers and digital tools for predicting the service life of structures under the conditions of Kazakhstan.

Keywords: hydraulic concrete, water resistance, frost resistance, pozzolanic additives, crystalline waterproofing.



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



ОСОБЕННОСТИ УХОДА ЗА ДОРОГАМИ С ЦЕМЕНТОБЕТОННЫМ ПОКРЫТИЕМ

Жумагулова А. А.^{1*}

¹Архитектурно-строительный факультет, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

*Корреспондент автор: zhumagulova_aa_1@enu.kz

Аннотация В статье рассматриваются особенности ухода за автомобильными дорогами с цементобетонным покрытием в условиях Республики Казахстан. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения долговечности и эксплуатационной надежности дорожных конструкций в условиях резкоконтинентального климата. Целью работы является анализ основных проблем эксплуатации цементобетонных покрытий и оценка эффективности современных материалов и технологий ухода за ними.

Методологическая основа исследования включает анализ нормативно-технической документации, результатов лабораторных и натурных испытаний, а также сравнительный анализ инновационных материалов, применяемых в дорожной отрасли. Особое внимание уделено пропиточным составам, обеспечивающим защиту бетона от воздействия агрессивных факторов окружающей среды.

В результате исследования установлено, что применение современных пропиточных материалов способствует снижению водопоглощения, повышению морозостойкости и увеличению срока службы дорожных покрытий. Практическая значимость работы заключается в возможности внедрения эффективных решений по уходу за цементобетонными дорогами в нормативную практику дорожного строительства.

Ключевые слова: цементобетонные покрытия, дорожное строительство, долговечность, пропиточные составы, трещинообразование, морозостойкость, уход за дорогами.

Введение

Развитие дорожной инфраструктуры в Казахстане является одним из ключевых факторов экономического роста и повышения качества жизни населения. В условиях интенсивной эксплуатации автомобильных дорог особую актуальность приобретает повышение долговечности дорожных покрытий, особенно цементобетонных [1].

Анализ существующих исследований показывает, что цементобетонные покрытия обладают высокой прочностью и устойчивостью к нагрузкам, однако подвержены ряду эксплуатационных дефектов, включая трещинообразование, разрушение швов и выкрашивание поверхности [2], [3]. Несмотря на наличие значительного количества исследований в данной области, вопросы эффективного ухода и продления срока службы покрытий остаются недостаточно изученными, особенно с учетом климатических условий Казахстана.

Целью настоящего исследования является анализ особенностей ухода за цементобетонными покрытиями автомобильных дорог и оценка эффективности современных материалов и технологий, применяемых для повышения их долговечности.

Методология

В рамках исследования использованы следующие методы:

- анализ нормативных документов (СТ РК, ГОСТ, международные стандарты);
- лабораторные испытания материалов на прочность, водопоглощение и морозостойкость;
- натурные испытания на участках автомобильных дорог;
- сравнительный анализ традиционных и инновационных материалов [4], [5].

Лабораторные испытания проводились с использованием стандартных методик определения физико-механических характеристик бетона. Оценка водопоглощения, морозостойкости и прочности осуществлялась в соответствии с действующими стандартами.

Натурные испытания включали апробацию пропиточных составов на реальных участках дорог с последующим мониторингом их эксплуатационных характеристик.

В качестве исследуемых материалов использовались современные модифицирующие добавки и пропиточные составы, разработанные с учетом климатических условий Казахстана.

Результаты и Обсуждение

Анализ показал, что основными проблемами эксплуатации цементобетонных покрытий являются:

- образование трещин вследствие температурных деформаций и усадки;
- разрушение швов;
- выкрашивание поверхности и образование выбоин;
- снижение морозостойкости при циклах замораживания–оттаивания.

Применение современных пропиточных составов позволяет значительно снизить негативное влияние указанных факторов. Установлено, что их использование обеспечивает:

- снижение водопоглощения бетона;
- повышение морозостойкости;
- уменьшение внутреннего напряжения;
- самозалечивание микротрещин.

Апробация материалов проводилась на участке автомобильной дороги «Алматы–Хоргос». По результатам испытаний зафиксировано улучшение эксплуатационных характеристик покрытия и снижение темпов его разрушения.



Рисунок 1 – Образование трещин на поверхности цементобетонного покрытия

Таблица 1 – Основные дефекты цементобетонных покрытий и причины их возникновения

Дефект	Причина возникновения	Последствия
Трещины	Температурные колебания, усадка	Снижение прочности
Разрушение швов	Потеря эластичности герметика	Нарушение целостности
Выбоины	Морозное воздействие	Снижение ровности
Выкрашивание	Износ, шипованные шины	Ухудшение сцепления

Полученные результаты согласуются с данными других исследований, подтверждая эффективность применения модифицирующих добавок и защитных составов [6].

Заключение

В ходе исследования установлено, что эффективный уход за цементобетонными покрытиями является ключевым фактором обеспечения их долговечности.

Применение современных пропиточных составов позволяет существенно повысить эксплуатационные характеристики дорожных покрытий, снизить затраты на их содержание и увеличить срок службы.

Практическая значимость работы заключается в возможности внедрения исследованных технологий в практику дорожного строительства Казахстана.

В дальнейшем целесообразно проведение дополнительных исследований, направленных на оптимизацию составов материалов с учетом региональных климатических условий и разработку цифровых систем мониторинга состояния дорожных покрытий.

Список литературы

1. Модифицированный бетон для цементобетонных дорог Республики Казахстан // Qazaq Highway Science and Innovation. – 2025. – Т. 1, № 1.
2. Республика Казахстан. Реестр дорожных материалов и технологий. – 2025.

3. 79 новых материалов для дорожного строительства протестируют в Казахстане [Электронный ресурс]. – URL: <https://urbanexpert.kz/news/kazakhstan/79-novih-materialov-dlya-dorozhnogo-stroitelstva-protestiruyut-v-kazahstane-328>

4. (дата обращения: 05.06.2025).

5. ГОСТ, СТ РК. Методы испытаний бетона (действующие нормативные документы).

6. AASHTO. Standards for Concrete Pavement Testing. – Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials.

7. Alibayeva A., et al. Enhancing sustainable pavement materials: Assessing modifying additives in bitumen for improved environmental performance // E3S Web of Conferences. – 2025. – Vol. 614. – Article 04012.

Сведения об авторах

Жумагулова Адия Аскарровна – кандидат технических наук, ассоциированный профессор, и.о. доцента кафедры «Технология промышленного и гражданского строительства», НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», Астана, Казахстан, zhumagulova_aa_1@enu.kz

Zhumagulova Adiya Askarovna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Acting Associate Professor of the Department of Industrial and Civil Engineering Technology, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, zhumagulova_aa_1@enu.kz

Жұмағұлова Әдия Асқарқызы – техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, «Өнеркәсіптік және азаматтық құрылыс технологиясы» кафедрасының доценті м.а., Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, zhumagulova_aa_1@enu.kz

Вклад автора

Жумагулова А.А. – концепция исследования, методология, анализ данных, интерпретация результатов, подготовка текста статьи.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

ЦЕМЕНТБЕТОН ЖАБЫНДЫЛЫ АВТОМОБИЛЬ ЖОЛДАРЫНА КҮТІМ ЖАСАУ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

Жумагулова А. А.^{1*}

¹Сәулет-құрылыс факультеті, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

*Корреспондент автор: zhumagulova_aa_1@enu.kz

Андатпа. Мақалада Қазақстан Республикасы жағдайында цементбетон жабыны бар автомобиль жолдарына күтім жасау ерекшеліктері қарастырылған. Зерттеудің өзектілігі күрт континенттік климат жағдайында жол құрылымдарының ұзақ мерзімділігі мен пайдалану сенімділігін арттыру қажеттілігімен негізделген. Жұмыстың мақсаты – цементбетон жабындарының пайдалану барысында туындайтын негізгі мәселелерін талдау және оларды күтіп ұстауға арналған заманауи материалдар мен технологиялардың тиімділігін бағалау.

Зерттеудің әдіснамалық негізі нормативтік-техникалық құжаттарды талдауды, зертханалық және натурлық сынақ нәтижелерін, сондай-ақ жол саласында қолданылатын

инновациялық материалдарды салыстырмалы талдауды қамтиды. Бетонды қоршаған ортаның агрессивті факторларының әсерінен қорғауды қамтамасыз ететін сіңіргіш құрамдарға ерекше назар аударылған.

Зерттеу нәтижесінде заманауи сіңіргіш материалдарды қолдану бетонның су сіңіргіштігін төмендетуге, аязға төзімділігін арттыруға және жол жабындарының қызмет ету мерзімін ұзартуға мүмкіндік беретіні анықталды. Жұмыстың практикалық маңыздылығы цементбетон жолдарын күтіп ұстаудың тиімді шешімдерін жол құрылысының нормативтік тәжірибесіне енгізу мүмкіндігімен айқындалады.

Түйінді сөздер: цементбетон жабындары, жол құрылысы, ұзақ мерзімділік, сіңіргіш құрамдар, жарықшақ түзілуі, аязға төзімділік, жолдарды күтіп ұстау

FEATURES OF MAINTENANCE OF CEMENT CONCRETE ROADS

Zhumagulova A. A.^{1*}

¹Faculty of Architecture and Civil Engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

*Corresponding author: zhumagulova_aa_1@enu.kz

Abstract. This article examines the features of maintenance of cement concrete roads under the conditions of the Republic of Kazakhstan. The relevance of the study is обусловлена the need to improve the durability and operational reliability of road structures in a sharply continental climate. The aim of the study is to analyze the main operational problems of cement concrete pavements and to evaluate the effectiveness of modern materials and technologies for their maintenance.

The methodological basis of the study includes the analysis of regulatory and technical documentation, results of laboratory and field tests, as well as a comparative analysis of innovative materials used in the road industry. Special attention is paid to impregnating compositions that provide protection of concrete against aggressive environmental factors.

The results of the study show that the use of modern impregnating materials contributes to reducing water absorption, increasing frost resistance, and extending the service life of road pavements. The practical significance of the work lies in the possibility of implementing effective maintenance solutions for cement concrete roads into the regulatory practice of road construction.

Keywords: cement concrete pavements, road construction, durability, impregnating materials, cracking, frost resistance, road maintenance



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



AC DUOPAVE – TECHNOLOGY FOR REGIONAL ROADS

Shiryayev N.¹

¹ Rettenmaier Rus LLC, Moscow, Russia

*Corresponding author: nikita24121990@gmail.com

Abstract. Road infrastructure is a critical component of the national transport system and plays a key role in ensuring sustainable economic growth and improving the quality of life. The current condition of regional road networks in many countries, including Russia, requires the implementation of advanced technologies that can enhance pavement durability while reducing construction and maintenance costs.

The aim of this study is to evaluate the effectiveness of the AC Duopave technology for regional roads with light and capital pavement structures. The methodology includes laboratory mix design, testing of physical and mechanical properties, and analysis of volumetric characteristics in accordance with national and international standards.

The AC Duopave technology represents a single-layer asphalt concrete system that performs both base and wearing course functions. The study includes the development of an asphalt mixture AC Duopave 16, optimization of binder content, and evaluation of performance characteristics using Marshall compaction methods.

The results demonstrate that the optimized mixtures provide adequate air void content, high stability, and resistance to rutting. The practical significance of the study lies in the potential application of AC Duopave technology to improve the durability and cost-efficiency of regional road pavements.

Keywords: AC Duopave, asphalt concrete, regional roads, pavement durability, mix design, rutting resistance, road construction.

Introduction

Automobile roads are a fundamental element of the transport infrastructure. Their condition significantly influences economic development, logistics efficiency, and regional connectivity. Despite continuous development, a substantial portion of regional road networks remains in unsatisfactory condition, which necessitates the implementation of innovative materials and technologies.

Statistical data indicate that a large percentage of roads fall within or exceed critical operational limits, particularly for regional roads of II–IV technical categories. This highlights the need for solutions that can extend pavement service life while maintaining cost efficiency.

One of the promising technologies widely used abroad is AC Duopave, which combines structural and functional layers into a single asphalt layer. The objective of this research is to assess the applicability and performance of this technology under practical conditions.

Methodology

The study involved the design and laboratory testing of asphalt concrete mixtures based on AC Duopave technology.

The following materials were used:

- crushed granite (fractions 4–8 mm and 8–16 mm),
- crushed sand,
- bitumen BND 70/100,
- mineral filler,
- stabilizing additives (Viatop 66 and Viatop Premium).

All materials complied with regulatory requirements.

The mix design was developed with a nominal maximum aggregate size of 16 mm (AC Duopave 16). The gradation curve was selected according to international recommendations (Rettenmaier reports and SMA JENA guidelines).

Sample preparation was carried out using the Marshall compaction method in accordance with GOST R 58406.9-2019, with 50 blows per side.

To determine the optimal binder content, several mixtures were prepared with varying bitumen content (step of 0.2%). Air voids, density, and mechanical properties were evaluated.

Results and Discussion

Initial tests showed that the air void content (1.0%) was below the recommended minimum level (2.5%), which may lead to rutting due to insufficient internal structure stability.

Further analysis revealed that the relationship between air voids and binder content follows a parabolic trend rather than a linear one, indicating the presence of an optimal binder content corresponding to maximum structural stability.

After adjusting the gradation curve and binder content, the optimal compositions were determined:

- 4.6% bitumen + 0.4% Viatop 66,
- 4.7% bitumen + 0.2% Viatop Premium.

Table 1 – Physical and Mechanical Properties of AC Duopave Mixtures

Property	Viatop 66	Viatop Premium
Bulk density (g/cm ³)	2.450	2.457
Maximum density (g/cm ³)	2.516	2.525
Air voids (%)	2.6	2.7
Marshall stability (N)	8200	8400
Marshall flow (mm)	4.25	4.88
Tensile strength (MPa)	8.1	8.5

The results show that AC Duopave mixtures exhibit:

- stable air void content within recommended limits,
- high resistance to deformation,
- improved internal friction due to increased coarse aggregate content.

Compared to traditional dense asphalt mixtures, AC Duopave combines high stiffness with sufficient flexibility, making it less dependent on binder properties.

Additionally, since AC Duopave functions as both base and wearing course (thickness 6-8 cm), it significantly reduces construction costs.

Conclusion

The study confirms that AC Duopave technology is an effective solution for regional roads of II–IV categories.

The developed mixtures demonstrate high mechanical performance, resistance to rutting, and optimal volumetric characteristics.

The practical advantage of the technology lies in reducing construction costs while maintaining or improving pavement durability.

Future research should focus on field implementation and long-term performance monitoring under real traffic and climatic conditions.

List of references

1. Rettenmaier GmbH. AC Duopave Technology Reports. – Germany, 2020.
2. SMA JENA. Guidelines for Stone Mastic Asphalt Mix Design. – Germany, 2019.
3. Federal Agency for Technical Regulation and Metrology (GOST). GOST R 58406.9-2019: Asphalt Concrete Mixtures – Marshall Method for Specimen Preparation and Testing. – Moscow, Russia.
4. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing. – Washington, DC, USA.
5. Kiryukhin G. N., Smirnov E. A. Asphalt Concrete: Structure and Properties. – Moscow: Transport Publishing House, 2018.
6. JRS Rettenmaier. Viatop Stabilizing Additives: Technical Documentation. – Germany.

Author Information

Shiryayev Nikita Igorevich – Specialist, Rettenmaier Rus LLC, Moscow, Russia, nikita24121990@gmail.com

Ширяев Никита Игоревич – маман, «Реттенмайер Рус» ЖШС, Мәскеу, Ресей, nikita24121990@gmail.com

Ширяев Никита Игоревич – специалист, ООО «Реттенмайер Рус», Москва, Россия, nikita24121990@gmail.com

Author Contributions

Shiryayev N.I. – concept, methodology, experimental studies, data analysis, interpretation, manuscript preparation.

Conflict of Interest: The authors declare no conflict of interest.

Use of artificial intelligence (AI): Artificial intelligence was used to check the grammar and spelling of the text of the article.

DUORAVE – Өңірлік Автомобиль Жолдарына Арналған Технология

Ширяев Н. И.^{1*}

¹ «Реттенмайер Рус» ЖШС, Мәскеу, Ресей
*Корреспондент автор: nikita24121990@gmail.com

Аңдатпа. Жол инфрақұрылымы ұлттық көлік жүйесінің маңызды құрамдас бөлігі болып табылады және тұрақты экономикалық өсуді қамтамасыз ету мен халықтың өмір сүру сапасын арттыруда негізгі рөл атқарады. Ресейді қоса алғанда көптеген елдердегі өңірлік жол желілерінің қазіргі жағдайы жол жабындарының ұзақ мерзімділігін арттырып, құрылыс және пайдалану шығындарын азайтуға мүмкіндік беретін озық технологияларды енгізуді талап етеді.

Бұл зерттеудің мақсаты – жеңілдетілген және капиталды типтегі жол құрылымдары бар өңірлік автомобиль жолдары үшін AC Duopave технологиясының тиімділігін бағалау. Зерттеу әдістемесіне асфальтбетон қоспасын жобалау, физика-механикалық қасиеттерін

зертханалық сынақтан өткізу және көлемдік сипаттамаларын ұлттық және халықаралық стандарттарға сәйкес талдау кіреді.

АС Duorave технологиясы – төменгі және жоғарғы қабаттың функцияларын бір мезгілде орындайтын бір қабатты асфальтбетон жүйесі. Зерттеу барысында АС Duorave 16 қоспасы әзірленіп, байланыстырғыш мөлшері оңтайландырылды және Маршалл әдісімен эксплуатациялық сипаттамалар бағаланды.

Нәтижелер оңтайландырылған қоспалардың ауа қуыстарының талап етілетін деңгейін, жоғары тұрақтылықты және колее түзілуіне қарсы төзімділікті қамтамасыз ететінін көрсетті. Жұмыстың практикалық маңыздылығы АС Duorave технологиясын өңірлік жол жабындарының ұзақ мерзімділігі мен экономикалық тиімділігін арттыру үшін қолдану мүмкіндігімен айқындалады.

Түйінді сөздер: АС Duorave, асфальтбетон, өңірлік жолдар, жабынның ұзақ мерзімділігі, қоспа жобалау, колее түзілуіне төзімділік, жол құрылысы.

АС DUORAVE – ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Ширяев Н. И.^{1*}

¹ООО «Реттенмайер Рус», Москва, Россия

*Корреспондент автор: nikita24121990@gmail.com

Аннотация. Дорожная инфраструктура является ключевым элементом национальной транспортной системы и играет важную роль в обеспечении устойчивого экономического роста и повышения качества жизни населения. Современное состояние региональных дорожных сетей во многих странах, включая Россию, требует внедрения передовых технологий, способных повысить долговечность дорожных покрытий при одновременном снижении затрат на строительство и эксплуатацию.

Целью данного исследования является оценка эффективности технологии АС Duorave для региональных автомобильных дорог с облегченными и капитальными типами дорожных одежд. Методология включает проектирование асфальтбетонной смеси, лабораторные испытания физико-механических свойств и анализ объёмных характеристик в соответствии с национальными и международными стандартами.

Технология АС Duorave представляет собой однослойную асфальтбетонную систему, выполняющую функции как нижнего, так и верхнего слоя покрытия. В рамках исследования разработана асфальтбетонная смесь АС Duorave 16, выполнена оптимизация содержания вяжущего и оценка эксплуатационных характеристик с использованием метода уплотнения по Маршаллу.

Результаты показывают, что оптимизированные смеси обеспечивают требуемое содержание воздушных пустот, высокую стабильность и устойчивость к колееобразованию. Практическая значимость работы заключается в возможности применения технологии АС Duorave для повышения долговечности и экономической эффективности дорожных покрытий регионального значения.

Ключевые слова: АС Duorave, асфальтбетон, региональные дороги, долговечность покрытия, проектирование смеси, устойчивость к колееобразованию, дорожное строительство.



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