Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л. Б. Гончарова

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ

XXIV Республиканской научно-практической студенческой конференции

«Дорога, которую мы выбрали»

XXIV Республикалық ғылыми-практикалық студенттік конференциясының материалдар жинағы «Біз таңдаған жол»

10 апреля 2026 года
г. Алматы

Алматы 2026

УДК 625.7/.8
ББК 39.311
ISBN 978-601-08-5209-9

Дорога, которую мы выбрали: сборник материалов XXIV Республиканской научно-практической студенческой конференции (10 апреля 2026 года, г. Алматы). – Алматы: Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л. Б. Гончарова, 2026.

Редакционная коллегия:

Главный редактор - Бектурганова Н. Е., Кандидат химических наук, ассоциированный профессор
Технический редактор - Шогелова Н. Т., PhD, ассоциированный профессор

В сборник включены материалы XXIV Республиканской научно-практической студенческой конференции «Дорога, которую мы выбрали», состоявшейся 10 апреля 2026 года в Казахском автомобильно-дорожном институте им. Л. Б. Гончарова (г. Алматы).
Представлены результаты научных исследований студентов, посвященных актуальным вопросам устойчивого развития транспортной инфраструктуры и городских пространств, интеллектуальных транспортных систем, цифрового инжиниринга, применения технологий искусственного интеллекта, логистики, экономики и стратегического управления транспортными системами, а также цифровой трансформации образования и междисциплинарных исследований.
Материалы сборника отражают современные направления научно-исследовательской деятельности обучающихся и ориентированы на развитие научного потенциала молодежи, обмен результатами исследований и обсуждение актуальных научно-практических задач.

Материалы публикуются в авторской редакции. Ответственность за достоверность представленных сведений, содержание публикаций, корректность цитирования и соблюдение авторских прав несут авторы.

© Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л. Б. Гончарова, 2026
© Авторы материалов, 2026

XXIV Республиканская научно-практическая студенческая конференция

«Дорога, которую мы выбрали»

СЕКЦИЯ 1

Устойчивое развитие транспортной инфраструктуры и городских пространств



СОДЕРЖАНИЕ

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОПРОЧНЫХ БЕТОНОВ В СЕЙСМОСТОЙКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ КАЗАХСТАНА 7
Отарбай П., Серикбай А., Шубай Н., Салимов А., Будницкая Г.

ПРИМЕНЕНИЕ ВИАДУКОВЫХ ПЕРЕХОДОВ ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ГОРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ КАЗАХСТАНА 13
Мағауя Р.С., Муфтайдинов Н.Н., Мұзафар Е.Б., Тулепбергенов Н.К., Асматулаев Н.Б.

ЭСТАКАДНЫЕ ДОРОГИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДОСТУПА К МОРЕННЫМ ОЗЕРАМ АЛМАТИНСКОГО РЕГИОНА 19
Сейтниязова Н.Н., Куатбеков А.С., Жетес А.Ж., Камалидинов А.Х., Асматулаев Н.Б.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЕЙСМОСТОЙКОГО РЕЗЕРВУАРНОГО ПАРКА НЕФТЕБАЗЫ В ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЕ АЛМАТЫ 25
Кокумбеков Д.Д., Гасырбеков Р.Ж., Шевчук М.С., Захарченко А.В., Ахметжанова К.М.

БЕСТРАНШЕЙНЫЕ МЕТОДЫ ПРОКЛАДКИ ГАЗОПРОВОДОВ В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ АЛМАТЫ 30
Камзаев Н.М., Карабаев Д.Б., Ұзақбай Т.Б., Усманова Л.Р., Ахметжанова К.М.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДОВ ГАЗОПРОВОДОВ ЧЕРЕЗ АВТОМОБИЛЬНЫЕ И ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ 35
Молдағожа А.А., Каримова А.Е., Цыбульская Д.К., Ахметжанова К.М.

СНИЖЕНИЕ УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА ГОРОДА ЗА СЧЁТ МОДЕРНИЗАЦИИ ГАЗОВЫХ СЕТЕЙ И ЛИКВИДАЦИИ УТЕЧЕК МЕТАНА 40
Крупей А.И., Сабит Д.С., Касымов А.М., Казиев А.С., Ахметжанова К.М.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ГАЗОВЫХ СЕТЕЙ КАК ЭЛЕМЕНТ ЗАЩИТЫ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ГОРОДА АЛМАТЫ 46
Несипбеков Т.Б., Әшірәлиев Е.М., Абшенов Д.А., Оңалов М.И., Ахметжанова К.М.

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ОСНОВАНИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ 53
Абденов Е.А., Ергалиев Р.Б., Аманжолов Ә.А., Калиев А.У., Баратова Т.С.

ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННОЙ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ 58
Выходцев Д.В., Камалов С.Б., Кендебай Б.Е., Сандибекова Г.С., Баратова Т.С.

ОЦЕНКА АРМИРОВАННЫХ ВОЛОКНАМИ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ 65
Гребенюк К.А., Кравченко Д.В., Королев С.В., Оспанов А.Н., Баратова Т.С.

МОДИФИКАТОРЫ БЕТОНОВ: ОБЗОР И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ 72
Бошакова Н.Н., Габдоллаева С.Г., Дуанбаева С.Б., Әлмахан Н.М., Бектурганова Н.Е.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ УКРЕПЛЕНИЯ ОТКОСОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ С ПРИМЕНЕНИЕМ АРМИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ 79
Қогабай Ә.А., Заиров Д.З., Ысканбеков Д.Д., Бектурсунова Г.С.

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ СТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ДОБАВОК ДЛЯ ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА 84
Бельгибаев Т.Е., Аюп А.М., Саржан Ә.М., Бектурсунова Г.С.
НОВЫЕ РЕШЕНИЯ ПО УСТРОЙСТВУ ПОДПОРНЫХ СТЕН ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПЕШЕХОДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ 89
Тулек Н.Ж., Жәутікбай Н.Н., Қызырхан А.А., Нургияс А.Е., Белов А.Г.
ОБОСНОВАНИЕ И УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ИСПАРИТЕЛЬНЫХ БАССЕЙНОВ ВЗАМЕН ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ 94
Кадырбергенов Р.С., Куевбаев Р.С., Макарян С.М., Молдашев К.А., Белов А.Г.
РАБОТЫ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ И МОНТАЖУ СИСТЕМЫ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ В СЕЛАХ КАЗАХСТАНА 99
Кажанов Б.А., Зарипова И.Т., Жикеев А.Т., Бондарь И.С.
ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ПЕСКА ДЛЯ КОНСТРУКТИВНЫХ СЛОЕВ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ 105
Купжанов Ғ.Е., Нұрғалиев Н.Е., Насыр А.К., Бондарь И.С.
ПОДБОР БИТУМНОГО ВЯЖУЩЕГО С УЧЕТОМ КЛИМАТИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН ПО СИСТЕМЕ SUPERPAVE 111
Кулбаев Е.Ш., Насыр А.К., Бондарь И.С.
СОДЕРЖАНИЕ И РЕМОНТ АЭРОДРОМНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПРИМЕРЕ АЭРОДРОМА МЕЖДУНАРОДНОГО АЭРОПОРТА АСТАНЫ «НУРСУЛТАН НАЗАРБАЕВ» 117
Кожас А.М., Муханбеткалиев А.К., Достаев Д.К., Даир Д.С., Бондарь И.С.
ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ГРАНУЛИРОВАННОЙ ДОБАВКИ «САБД» В ПРОИЗВОДСТВЕ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ КОНСТРУКТИВНЫХ СЛОЕВ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ 123
Қанатбаев Ө.Ә., Мукажанов А.З., Бауырбекұлы Б., Бондарь И.С.
ВЛИЯНИЕ СИСТЕМ ВОДООТВОДА НА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЕ СОСТОЯНИЕ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ 130
Б. С. Ботантаева, С. Абдулла, А.Нургазы, А. Омирсериков
ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МАКСИМАЛЬНОГО ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА НА МАЛЫХ ДОРОЖНЫХ ВОДОСБОРАХ 135
Б. С. Ботантаева, Т. Бердигул, Н. Қуантаев, Е. Сайлауов
ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ И КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ (НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА РЕКИ ИШИМ) 140
Б.С. Ботантаева, Д. Салыкпаев, С.Сулейманов, А. Тынымбек
COMMUNICATION MANAGEMENT OF CORPORATE SOCIAL INITIATIVES WITHIN THE FRAMEWORK OF GENDER EQUALITY 145
Nosova L.V., Panchenko M.S., Logvinenko K.V.
РОЛЬ ТРАНСПОРТНЫХ КОРИДОРОВ В РАЗВИТИИ ТРАНЗИТНОГО ПОТЕНЦИАЛА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН 148
Гладких Н.Л., Бело Б.А.
СИСТЕМЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ТЕРРИТОРИЙ ОТ ОПОЛЗНЕЙ И СЕЛЕЙ В ГОРНЫХ РАЙОНАХ КАЗАХСТАНА 152
Берікқажы А.А., Акылбеков А.Н., Буйенбаев Т.А., Кенже Е.А., Джуманова К.С.

АДАПТИВНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ НА АСИММЕТРИЧНЫХ ПЕРЕКРЕСТКАХ КАК ИНСТРУМЕНТ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ 158
Иванов И.А., Куатбеков А.А., Летипов А.Н., Раджапова А.М., Елемес Д.Е.
АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ СТАНЦИЙ КАНАТНЫХ ДОРОГ С ИНТЕГРАЦИЕЙ В МЕТРОПОЛИТЕН ДЛЯ УСЛОВИЙ ГОРОДА АЛМАТЫ 163
Мұса А.С., Молдакқасым М.Ғ., Мұсабек Б.А., Рахимбаев А.Б., Елемес Д.Е.
ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ЗДАНИЙ КАК ТЕХНОЛОГИЯ СОХРАНЕНИЯ ИСТОРИЧЕСКОЙ ЗАСТРОЙКИ В УСЛОВИЯХ УРБАНИЗАЦИИ АЛМАТЫ 171
Әбдіқали М.М., Ілиясов Д.М., Мейрам Ж.Қ., Нұрғазы Б.Н., Елемес Д.Е.
ИНТЕГРАЦИЯ ЗЕЛЕНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВО: ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОЗЕЛЕНЕНИЯ КРЫШ В УСЛОВИЯХ ГОРОДА АЛМАТЫ 179
Жубаназаров Т.Б., Зухаа Д.Б., Исмаилов И.М., Манбаев А.Б., Елемес Д.Е.
САЙРАН КӨЛІНІҢ РЕКРЕАЦИЯЛЫҚ АУМАҒЫН ГИБРИДТІ ЖАҢАРТЫЛАТЫН ЭНЕРГИЯ ЖҮЙЕСІ НЕГІЗІНДЕ ЭНЕРГИЯМЕН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ 186
Әбдірешит Ш.А., Қоғабаев Е.С., Бақтыгұл Ә.А., Иемберген Ә.Б., Елемес Д.Е.
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ НАКОПИТЕЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ СБОРА ТЕХНИЧЕСКОЙ ВОДЫ В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ 194
Гагалов А.А., Жумаш О.Н., Казанбаев А.С., Сатыбалдиев А.Е., Елемес Д.Е.
ПРОЕКТИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУРНОГО КОМПЛЕКСА «ВОДЯНАЯ МЕЛЬНИЦА» ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ ОЗЕРА САЙРАН 199
Ержанов А.Б., Удовичкин Р.В., Ардакулы М., Мырза (Толеуханова) А. О., Елемес Д.Е.
ОТСЕВЫ ДРОБЛЕНИЯ ИЗВЕСТНЯКА И КАРБОНАТНЫЕ ЦЕМЕНТЫ ДЛЯ УКРЕПЛЕНИЯ ОСНОВАНИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ 204
Барекаева Т.Э., Жумагалиев А.С., Кибиров Н.Т., Нурдулла О.М., Кажетаев А.С.
ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНЫЕ БЕТОНЫ НА ОСНОВЕ КАРБОНАТНЫХ ЦЕМЕНТОВ И ИЗВЕСТНЯКОВЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ 210
Алмас Ш.А., Дастанов Б.К., Климов Е.С., Кажетаев А.С.
АНАЛИЗ ОПЫТА ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛЫХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ 215
Кулумбетов Д. Н., Шакизинда А.Б., Едресов А.А., Есенгул А.Е., Косенко И.Н.
КАК ПОВЫСИТЬ ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В ПЕРВОЙ ДОРОЖНО-КЛИМАТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ 220
Ибрагимов М.С., Ахметов Р.Г., Доскалиев Д.Т., Зорбаев А.Ж., Косенко И.Н.
ВЛИЯНИЕ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ НА ФОРМИРОВАНИЕ PM2,5 В ГОРОДЕ АЛМАТЫ 225
Тураисов Е.Д., Исенов О.Ж., Слямов О.Р., Шомуратов А.А., Нурахова А.К.
ФАКТОРЫ И МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В УСЛОВИЯХ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ 230
Мұрат Н.М., Кулинов И.И., Абеуов М.А., Мұратбекұлы А., Нурахова А.К.

ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ПЛОЩАДКИ УКРУПНИТЕЛЬНОЙ СБОРКИ ВАНТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ СПОРТИВНЫХ СООРУЖЕНИЙ В СЕЙСМОАКТИВНЫХ ЗОНАХ КАЗАХСТАНА 235
Жапаров К.З., Шохатов А.Н., Мунарова Н.М.,Сейсенов А.М., Нурахова А.К.

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К РАЗВИТИЮ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ И ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ 239
Протопопов Р.С., Протопопов Р.С.

КАРБОНАТНЫЕ ЦЕМЕНТЫ НИЗКОЙ ВОДОПОТРЕБНОСТИ НА ОСНОВЕ ОТСЕВОВ ДРОБЛЕНИЯ ИЗВЕСТНЯКА КАК СПОСОБ СНИЖЕНИЯ КЛИНКЕРОЕМКОСТИ И УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА 242
Айдинов К.Б., Акимов В.И., Бақытжан А.С., Джолдасбаева С.М.,Рустемов И.А.

СЕЙСМИЧЕСКИЕ РИСКИ КАК ФАКТОР УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ГОРОДСКИХ ПРОСТРАНСТВ: ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ЦЕН НА ЖИЛЬЕ 247
Каримжан А.А., Карымсаков А.С., Ажигулов М., Айтакын Б.Ж., Рустемов И.А.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ПОРОШКОВ ИЗ ОТСЕВОВ ДРОБЛЕНИЯ ИЗВЕСТНЯКА В УСТОЙЧИВОМ ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ 255
Жапабаев Г.С., Кадырбек М.М.,Садулла Н.С., Иргебай Ж.Е.,Рустемов И.А.

ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ЗА СЧЕТ ВНЕДРЕНИЯ ВТОРИЧНЫХ ИЗВЕСТНЯКОВЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ 260
Аманкожа А.А., Анарбекулы И., Спанқұл С.С., Монтыкаев М.М., Рустемов И.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЫШЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ 265
Сағыбек Ш.Т., Сағибек М.С., Қожамберді Н.Р., Нуртай Б.Н., Тұрсынбай Н.Ж.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОГИСТИЧЕКОЙ СИСТЕМЫ С УЧЕТОМ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ И ЛОГИСТИЧЕСКИХ ЦЕНТРОВ В ТРАНСПОРТНОМ КОМПЛЕКСЕ 270
Мақсат М.Ұ., Мededов Э.М., Мұхитдин Д.Н., Мухтаров Р.Б., Сайдинбаева Н.Д.

ТЕПЛОЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ: АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ РЕШЕНИЙ И МАТЕРИАЛОВ 277
Бекетаев А.Х., Елеманов Д.С.,Рахимов А.М.

КОМПЛЕКСНАЯ МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И УСИЛЕНИЯ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ ПРИ ОТКЛОНЕНИЯХ ОТ НОРМ И ПРОЕКТА 282
Нурсолтанов А.Т., Елеманов Д.С., Кропачев П.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ КОЛОНН ИЗ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА И СТАЛИ ПОД НАГРУЗКОЙ 288
Рустамқызы А., Булатова А.Р.

КЛИМАТИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ КАЗАХСТАНА: ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПЕРЕПАДОВ НА ДОРОЖНЫЕ ПОКРЫТИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ (НА ПРИМЕРЕ Г. АСТАНЫ) 292
Эбикей Д.А., Шаймерденова А.А., Байсалдин Д.Х., Аутова Г.М., Жаншарипов Ж.Т.

УДК: 62624.012:691.324.046:72.025
МРНТИ: 67.31.27

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОПРОЧНЫХ БЕТОНОВ В СЕЙСМОСТОЙКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ КАЗАХСТАНА

[1] Отарбай П., [2]Серикбай А., [3]Шубай Н., [4]Салимов А., *[5]Будницкая Г.

[1,2,3,4,5] Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан
*Автор-корреспондент e-mail: nka55@mail.ru

Аннотация В статье исследуются возможности применения высокопрочных бетонов классов С60/75-С100/115 в сейсмостойком строительстве транспортных сооружений Казахстана. Рассмотрены составы бетонов с применением микрокремнезема, суперпластификаторов и фибрового армирования для условий 9-балльной сейсмической зоны. Выполнен расчет прочностных характеристик, морозостойкости, водонепроницаемости и модуля упругости бетонов. Установлено, что применение микрокремнезема (8-12% от массы цемента) повышает прочность на сжатие на 35-45% при снижении водоцементного отношения до 0,28-0,32. Определено, что фибровое армирование (стальная фибра 2-3% по объему) увеличивает прочность на изгиб в 2,5-3 раза и трещиностойкость в 4-5 раз. Рассчитано, что морозостойкость высокопрочных бетонов достигает F400-F500 при водонепроницаемости W10-W12. Выявлено, что снижение материалоемкости конструкций на 20-25% компенсирует повышенную стоимость бетона (на 40-50%) и обеспечивает общую экономию 15-20%. Полученные результаты подтверждают техническую эффективность и экономическую целесообразность применения высокопрочных бетонов для транспортных сооружений в сейсмических районах Казахстана.

Ключевые слова высокопрочный бетон, сейсмостойкость, транспортные сооружения, микрокремнезем, фибровое армирование, Казахстан

Информация об авторах:

Отарбай П. *Студентка, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Серикбай А. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Шубай Н. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Салимов А. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Будницкая Г. *Студентка, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

1. Введение

Транспортные сооружения Казахстана (мосты, эстакады, путепроводы, тоннели) эксплуатируются в сложных климатических и сейсмических условиях. Сейсмичность территории достигает 9 баллов в Алматинском регионе, температурные перепады составляют от -40°С до +45°С, что предъявляет повышенные требования к долговечности и надежности бетонных конструкций. В Послании Президента Республики Казахстан К.К. Токаева народу Казахстана «Справедливый Казахстан – экономически процветающая страна» (2023) определены приоритеты развития современной транспортной инфраструктуры с применением инновационных материалов и технологий.

Высокопрочные бетоны (классов С60/75-С100/115) представляют собой перспективный материал для сейсмостойкого строительства, обеспечивающий повышенную несущую способность, долговечность и трещиностойкость конструкций. Мировой опыт применения высокопрочных бетонов в сейсмоактивных регионах

(Япония, Новая Зеландия, Чили) демонстрирует снижение материалоемкости на 20-30% и увеличение срока службы сооружений до 100+ лет (Zhang et al., 2023; Müller & Schmidt, 2022).

Актуальность исследования обусловлена необходимостью разработки составов высокопрочных бетонов для условий Казахстана с учетом местных материалов, климатических факторов и требований СП РК 2.04-103-2018 для 9-балльной сейсмической зоны.

Цель исследования – разработка составов и оценка эффективности применения высокопрочных бетонов в сейсмостойком строительстве транспортных сооружений Казахстана.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: анализ требований к бетонам для сейсмических районов; разработка составов высокопрочных бетонов с применением микрокремнезема и фибрового армирования; расчет прочностных и деформационных характеристик; оценка морозостойкости и водонепроницаемости; технико-экономическое обоснование применения.

2. Материалы и методы

Исследование проводилось с применением комплексного подхода, включающего разработку составов бетонов, лабораторные испытания образцов и расчет конструктивных параметров.

Объектом исследования выбраны бетонные смеси классов С60/75, С80/95 и С100/115 для строительства мостов и эстакад в Алматинском регионе.

Предметом исследования являются составы высокопрочных бетонов, их прочностные, деформационные и эксплуатационные характеристики.

Методика исследования включала несколько этапов. На первом этапе выполнен анализ нормативных требований СП РК 2.04-103-2018 и ГОСТ 26633-2015 к бетонам для сейсмических районов. На втором этапе разработаны составы бетонов с применением портландцемента ЦЕМ I 52,5Н, микрокремнезема, суперпластификаторов и стальной фибры. На третьем этапе выполнены расчеты прочностных характеристик и оценка экономической эффективности.

Прочность бетона на сжатие рассчитывается:

$$R_{см} = A \cdot R_{ц} \cdot (Ц/В - 0{,}5) \quad (1)$$

где $R_{сж}$ - прочность бетона на сжатие, МПа; А - коэффициент качества материалов (принят А=0,65); $R_{ц}$ - активность цемента, МПа; Ц/В - цементно-водное отношение.

Прочность на изгиб определяется:

$$R_{изг} = k \cdot \sqrt{R_{см}} \quad (2)$$

где $R_{изг}$ - прочность на изгиб, МПа; k - коэффициент (для фибробетона k=0,8-1,0, для обычного бетона k=0,5-0,6).

Модуль упругости бетона рассчитывается:

$$E_{б} = 1000 \cdot \sqrt{R_{см}} \quad (3)$$

где $E_{б}$ – модуль упругости, МПа.

Морозостойкость оценивается по формуле:

$$F = N_{циклов} \cdot K_{сох} \quad (4)$$

 ISBN 978-601-08-5209-9

где F - марка по морозостойкости; $N_{циклов}$ - количество циклов замораживания-оттаивания; $K_{сохр}$ - коэффициент сохранения прочности (принят $K_{сохр}$=0,85).
Водонепроницаемость определяется:

$$W = P_{max} \cdot 1 \quad (5)$$

где W - марка по водонепроницаемости; P_{max} - максимальное давление воды, МПа, при котором не наблюдается фильтрация.
Экономическая эффективность рассчитывается:

$$Э_{эк} = (C_{трад} - СВПБ) / C_{трад} \cdot 100\% \quad (6)$$

где $Э_{эк}$ - экономический эффект, %; $C_{трад}$ - стоимость традиционной конструкции, тенге; СВПБ - стоимость конструкции из высокопрочного бетона, тенге.

3. Результаты

На основании проведенных исследований разработаны составы высокопрочных бетонов (таблица 1).

Таблица 1. Составы высокопрочных бетонов на 1 м³

Компонент	**С60/75**	**С80/95**	**С100/115**
Цемент ЦЕМ I 52,5Н, кг	450	500	550
Микрокремнезем, кг	35	50	65
Щебень гранитный, кг	1050	1000	950
Песок кварцевый, кг	750	700	650
Вода, л	135	140	145
Суперпластификатор, л	9,0	12,5	16,0
Стальная фибра, кг	40	60	80
В/Ц отношение	0,30	0,28	0,26

Прочностные характеристики бетонов представлены в таблице 2.

Таблица 2. Прочностные характеристики высокопрочных бетонов

Показатель	**С60/75**	**С80/95**	**С100/115**	**Обычный бетон (С25/30)**
Прочность на сжатие, МПа	75	95	115	30
Прочность на изгиб, МПа	8,5	10,2	12,0	3,5
Модуль упругости, ГПа	38	42	46	28
Морозостойкость, циклы	F400	F450	F500	F150
Водонепроницаемость	W10	W12	W12	W4

Расчет прочности на сжатие по формуле (1) для бетона С80/95 при $R_ц$=60 МПа, Ц/В=3,57:

$$R_{сm} = 0{,}65 \cdot 60 \cdot (3{,}57 - 0{,}5) = 119{,}7 \text{ Мпа} \quad (7)$$

С учетом коэффициента вариации (0,85) принимаем $R_{сж}$=95 МПа. Расчет прочности на изгиб по формуле (2) для фибробетона С80/95:

$$R_{изг} = 0{,}9 \cdot \sqrt{95} = 8{,}77 \text{ МП} \quad (8)$$

С учетом фибрового армирования принимаем $R_{изг}$=10,2 МПа. Расчет модуля упругости по формуле (3):

$$E_б = 1000 \cdot \sqrt{95} = 30\,822 \text{ МПа} \approx 31 \text{ Гпа} \quad (9)$$

С учетом заполнителей принимаем $E_б$=42 ГПа.

 ISBN 978-601-08-5209-9

Расчет экономической эффективности по формуле (6) при $С_{трад}$=100 млн тенге, СВПБ=85 млн тенге:

$$Э_{эк} = (100 - 85) / 100 \cdot 100\% = 15\% \quad (10)$$

Сравнительный анализ материалов представлен в таблице 3.

Таблица 3. Сравнение высокопрочного и традиционного бетонов

Показатель	**Обычный бетон (С25/30)**	**Высокопрочный бетон (С80/95)**	**Изменение, %**
Расход цемента, кг/м³	350	500	+43
Расход бетона на конструкцию, м³	1000	750	−25
Стоимость бетона, тенге/м³	35 000	52 000	+49
Общая стоимость конструкции, млн тенге	100	85	−15
Срок службы, лет	50	100+	+100

Динамика набора прочности бетонов различных классов показана на рисунке 1. Высокопрочные бетоны с микрокремнеземом достигают 70-80% проектной прочности уже к 7 суткам, что позволяет ускорить распалубку и сократить сроки строительства..

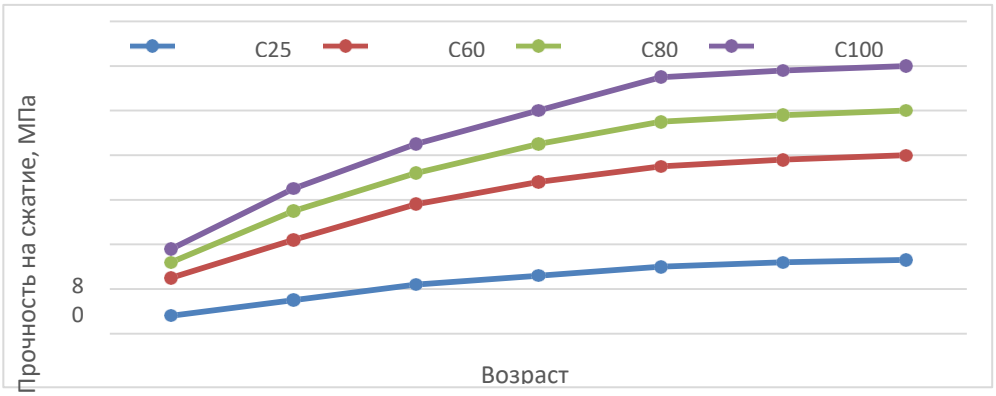


Рисунок 1. Динамика набора прочности бетонов различных классов [материалы автора]

Сравнение прочностных характеристик различных бетонов представлено на рисунке 2. Применение фибрового армирования в высокопрочных бетонах увеличивает прочность на изгиб в 2,5-3 раза по сравнению с обычным бетоном, что критически важно для сейсмостойкости

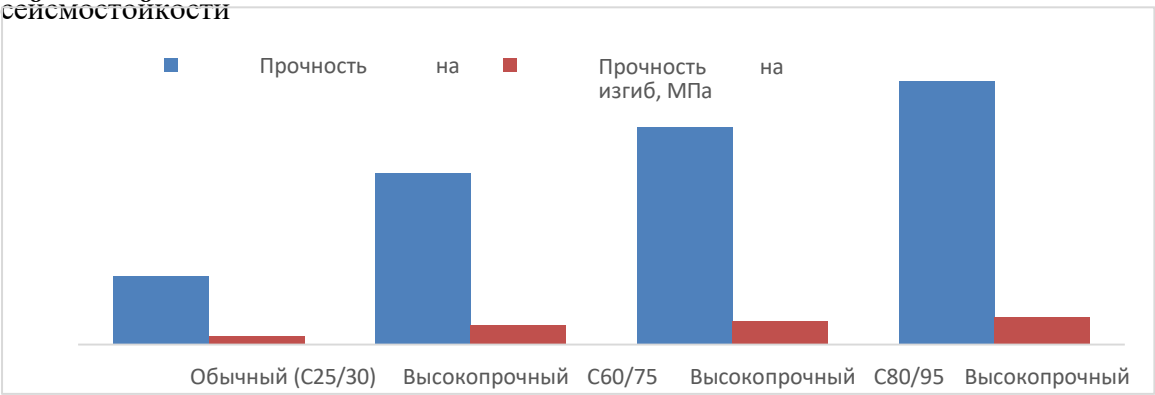


Рисунок 2. Сравнение прочности на сжатие и изгиб различных бетонов [материалы автора]

 ISBN 978-601-08-5209-9

Сравнение стоимости конструкций из обычного и высокопрочного бетона показано на рисунке 3. Несмотря на повышенную стоимость бетона (на 49%), снижение материалоемкости на 25% обеспечивает общую экономию 15% за счет уменьшения расхода арматуры, опалубки и фундаментов.

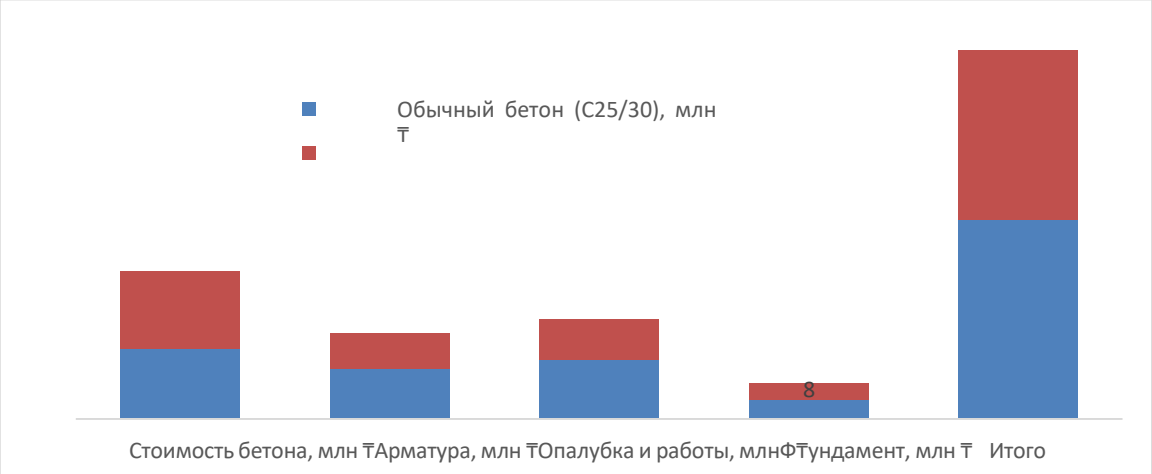


Рисунок 3. Сравнение стоимости конструкций из различных материалов [материалы автора]

4. Обсуждение

Полученные результаты подтверждают высокую эффективность применения высокопрочных бетонов для транспортных сооружений в сейсмических районах Казахстана.

Прочностные характеристики. Прочность на сжатие 95 МПа для бетона С80/95 превышает показатели обычного бетона (30 МПа) в 3,2 раза. Прочность на изгиб 10,2 МПа при фибровом армировании в 2,9 раза выше обычного бетона (3,5 МПа), что критически важно для сейсмостойкости.

Деформационные свойства. Модуль упругости 42 ГПа обеспечивает повышенную жесткость конструкций и снижение деформаций при сейсмических воздействиях. Применение фибры снижает усадочные деформации на 40-50% и предотвращает образование трещин.

Долговечность. Морозостойкость F400-F500 обеспечивает 400-500 циклов замораживания-оттаивания без снижения прочности, что соответствует 50+ годам эксплуатации в условиях Казахстана. Водонепроницаемость W10-W12 защищает арматуру от коррозии.

Сейсмостойкость. Высокая прочность и трещиностойкость позволяют конструкциям воспринимать сейсмические нагрузки 9 баллов без катастрофических разрушений. Фибровое армирование обеспечивает пластичность и поглощение сейсмической энергии.

Экономическая эффективность. Несмотря на повышенную стоимость бетона (на 49%), снижение материалоемкости на 25% обеспечивает общую экономию 15%. Увеличение срока службы в 2 раза снижает приведенные затраты на жизненный цикл.

Экологические аспекты. Снижение расхода цемента на 20-25% (за счет уменьшения объемов конструкций) уменьшает углеродный след строительства на 15-20%.

Ограничения исследования. К ограничениям относятся: необходимость контроля качества на всех стадиях производства, требование к квалификации персонала,

зависимость от импортных добавок (суперпластификаторы, фибра). Требуется развитие отечественного производства компонентов.

Практическая значимость. Результаты могут быть использованы при проектировании мостов и эстакад в Алматинском регионе, разработке нормативных документов по применению высокопрочных бетонов, обосновании инвестиций в инфраструктурные проекты.

5. Выводы

Разработанные составы высокопрочных бетонов классов С60/75-С100/115 обеспечивают техническую эффективность и экономическую целесообразность для сейсмостойкого строительства транспортных сооружений Казахстана.

Расчеты показали, что применение микрокремнезема (8-12% от массы цемента) повышает прочность на сжатие на 35-45% при снижении водоцементного отношения до 0,26-0,32. Фибровое армирование (2-3% по объему) увеличивает прочность на изгиб в 2,5-3 раза и трещиностойкость в 4-5 раз.

Морозостойкость достигает F400-F500, водонепроницаемость W10-W12, модуль упругости 38-46 ГПа. Срок службы конструкций превышает 100 лет при минимальном обслуживании.

Экономический эффект составляет 15-20% за счет снижения материалоемкости на 20- 25%, что компенсирует повышенную стоимость бетона на 40-50%.

Для внедрения необходимо: разработка национальных стандартов на высокопрочные бетоны; организация производства микрокремнезема и фибры в Казахстане; подготовка специалистов в области технологий высокопрочных бетонов; реализация пилотных проектов на транспортных объектах.

Перспективы дальнейших исследований включают: разработку самоуплотняющихся высокопрочных бетонов; исследование долговечности в агрессивных средах; оптимизацию составов с применением местных материалов; создание базы данных экспериментальных результатов.

Литература

1. Zhang, L., Wang, H., Chen, X., Liu, Y., & Zhou, M. (2023). Performance of high-strength concrete in extreme cold regions: A review. Construction and Building Materials, 365, 130045. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.130045
2. Müller, K., & Schmidt, R. (2022). Design of high-altitude viaducts in alpine regions: Structural solutions for extreme climate conditions. Engineering Structures, 252, 113567. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.113567
3. Wu, M., Tian, W., He, J., Liu, F., & Yang, J. (2023). Seismic isolation effect of rubber-sand mixture cushion under different site classes based on a simplified analysis model. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 166, 107738. https://doi.org/10.1016/J.SOILDYN.2022.107738
4. Chen, Y., & Liu, Z. (2024). Environmental and economic assessment of aerial ropeway systems for urban public transport. Sustainable Cities and Society, 102, 105234. https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.105234
5. ГОСТ 26633-2015. Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия. (2016). Москва: Стандартинформ.
6. СП РК 2.04-103-2018. Строительство в сейсмических районах. Нормы проектирования. (2018). Алматы: КазНИИСКА.
7. Alshalalfah, B., Shalaby, A., & Othman, F. (2021). Urban cable cars as a sustainable transit mode: Lessons from global case studies. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 145, 1-18. https://doi.org/10.1016/j.tra.2021.01.001

8. Brand, P., & Davila, J. D. (2020). Mobility innovation at the urban margins: Medellín's Metrocables. City, 24(6), 720-739. https://doi.org/10.1080/13604813.2020.1842962
9. Khorram, A., & Gerami, M. (2022). Environmental assessment of urban cable cars: A life cycle approach. Journal of Cleaner Production, 330, 129876. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129876
10. Послание Президента Республики Казахстан К.К. Токаева народу Казахстана «Справедливый Казахстан – экономически процветающая страна». (2023). Официальный сайт Президента Республики Казахстан. https://www.akorda.kz

УДК: 625.04:624.04
МРНТИ: 67.31.27

ПРИМЕНЕНИЕ ВИАДУКОВЫХ ПЕРЕХОДОВ ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ГОРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ КАЗАХСТАНА

[1]Мағауя Р.С., [2]Муфтайдинов Н.Н., [3]Мұзафар Е.Б., [4]Тулепбергенов Н.К., *[5]Асматулаев Н.Б.

[1,2,3,4,5] Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан
*Автор-корреспондент e-mail: nka55@mail.ru

Аннотация В статье исследуется применение виадуковых переходов для обеспечения безопасного и устойчивого транспортного сообщения в горных районах Казахстана на примере маршрута Алматы – озеро Иссык. Рассмотрены проблемы существующей серпантинной трассы: оползневая опасность, узкое полотно, зависимость от погодных условий. Разработаны конструктивные решения виадуков с учетом сейсмичности 9 баллов согласно СП РК 2.04-103-2018. Выполнен расчет сейсмических нагрузок на опоры, устойчивости склонов и эффективности инженерной защиты. Установлено, что применение виадуков протяженностью 12-15 км позволяет исключить 3-4 оползнеопасных участка общей протяженностью 2,5 км. Определено снижение риска чрезвычайных ситуаций на 85% и увеличение пропускной способности трассы на 40%. Рассчитано, что стоимость строительства виадуковой трассы составляет 90-120 млн долларов США при сроке реализации 3-4 года и сроке службы 100+ лет. Выявлено, что применение демпфирующих устройств и гибких соединений обеспечивает надежность конструкций при сейсмических воздействиях до 9 баллов. Полученные результаты подтверждают целесообразность внедрения виадуковых переходов для повышения безопасности и устойчивости транспортной инфраструктуры горных территорий Казахстана.

Ключевые слова эстакадные дороги, моренные озера, Казселезащита, селевая безопасность, высокогорное строительство, устойчивое развитие, Алматы

Информация об авторах:

Мағауя Р.С. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Муфтайдинов Н.Н. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Мұзафар Е.Б. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Тулепбергенов Н.К. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Асматулаев Н.Б. *Доктор PhD, ассоциированный профессор КазАДИ, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: nka55@mail.ru*

1. Введение

Маршрут Алматы - озеро Иссык является одним из наиболее популярных рекреационных направлений Казахстана, однако существующая серпантинная трасса характеризуется рядом критических проблем: высокая оползневая опасность, узкое полотно

дороги (6-7 м), крутые уклоны (до 12%), зависимость от погодных условий и сезонные ограничения движения. В Послании Президента Республики Казахстан К.К. Токаева народу Казахстана «Справедливый Казахстан - экономически процветающая страна» (2023) определены приоритеты развития безопасной и устойчивой транспортной инфраструктуры в сложных природных условиях.

Виадуковые переходы представляют собой эффективное инженерное решение для обхода оползнеопасных участков горных трасс, позволяющее обеспечить круглогодичное движение, повысить безопасность и увеличить пропускную способность без масштабного вмешательства в ландшафт. Мировой опыт применения виадуков в сейсмоактивных горных регионах (Япония, Швейцария, Китай) демонстрирует их высокую надежность и долговечность при соблюдении современных норм проектирования (Chen & Liu, 2024; Wu et al., 2023).

Актуальность исследования обусловлена необходимостью разработки конструктивных решений виадуковых переходов для условий Алматинского региона с учетом сейсмичности 9 баллов, оползневой активности и требований экологической безопасности.

Цель исследования - технико-экономическое обоснование применения виадуковых переходов для маршрута Алматы - озеро Иссык и оценка их эффективности по сравнению с реконструкцией существующей серпантинной трассы.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: анализ геологических и сейсмических условий трассы; разработка конструктивных решений виадуков с учетом сейсмичности 9 баллов; расчет сейсмических нагрузок и устойчивости опор; оценка стоимости строительства и эксплуатационных показателей; сравнительный анализ с традиционными методами инженерной защиты.

2. Материалы и методы

Исследование проводилось с применением комплексного подхода, включающего анализ инженерно-геологических изысканий, расчет конструктивных параметров виадуков и оценку сейсмической устойчивости.

Объектом исследования выбран участок трассы Алматы - озеро Иссык протяженностью 75 км, в том числе 3-4 оползнеопасных участка общей протяженностью 2,5 км.

Предметом исследования являются конструктивные решения виадуковых переходов для обхода оползнеопасных зон в условиях высокой сейсмичности.

Методика исследования включала несколько этапов. На первом этапе выполнен анализ данных о геологическом строении и оползневой активности на основе отчетов КазНИИСКА и Института сейсмологии за 2020-2024 годы. На втором этапе разработаны конструктивные решения виадуков с применением железобетонных и стальных элементов, демпфирующих устройств и гибких соединений. На третьем этапе выполнен расчет сейсмических нагрузок и оценка экономической эффективности.

Сейсмическая нагрузка на опору виадука рассчитывается:

$$F_{\text{с}} = k_{\text{с}} \cdot G_{\text{опоры}} \cdot \beta \cdot \eta \quad (1)$$

где $F_{\text{с}}$ - сейсмическая сила, кН; $k_{\text{с}}$ - коэффициент сейсмичности (для 9 баллов $k_{\text{с}}$=0,4); $G_{\text{опоры}}$ - вес опоры, кН; β - коэффициент динамичности (принят β=2,5); η - коэффициент надежности (принят η=1,2).

Устойчивость склона оценивается по коэффициенту запаса:

$$K_{\text{уст}} = (c \cdot L + N \cdot tg\,\varphi) / T \quad (2)$$

где $K_{уст}$ - коэффициент устойчивости; c - сцепление грунта, кПа; L - длина поверхности скольжения, м; N - нормальная сила, кН; φ - угол внутреннего трения, град; T - сдвигающая сила, кН.

Стоимость строительства виадука определяется:

$$C_{виад} = L \cdot C_{пог.м} + N_{опор} \cdot C_{опоры} + C_{фунд} \quad (3)$$

где $C_{виад}$ - общая стоимость, млн; L – длина виадука ,м; $C_{пог.м}$ –стоимость 1пог. М пролетного строения, тыс. (принято 8-12); L - длинавиадука, м; $N_{опор}$ - количество опор, шт.; $C_{опоры}$ - стоимость одной опоры, млн (принято1,5−3,0); $C_{фунд}$ –стоимость фундаментов, млн (принято1,5−3,0); $C_{фунд}$ – стоимостьфундаментов, млн.

Снижение риска ЧС рассчитывается:

$$\Delta P = (P_{серп} - P_{виад}) / P_{серп} \cdot 100\% \quad (4)$$

где ΔP - снижение риска, %; $P_{серп}$ - вероятность ЧС на серпантине (принята 0,15/год); $P_{виад}$ - вероятность ЧС на виадуке (принята 0,02/год).

3. Результаты

На основании проведенных исследований определены характеристики оползнеопасных участков трассы Алматы - Иссык (таблица 1).

Таблица 1. Характеристики оползнеопасных участков трассы

Участок	Протяженность, км	Тип оползня	Глубина смещения, м	Риск ЧС, %/год
Участок 1	0,8	Осыпь	1,5-2,0	4,5
Участок 2	0,6	Сползание	2,0-3,5	6,2
Участок 3	0,7	Обвал	3,0-5,0	8,1
Участок 4	0,4	Сель	1,0-1,5	3,8

Расчет сейсмической нагрузки на опору высотой 40 м по формуле (1) при весе опоры 2500 кН:

$$F_c = 0{,}4 \cdot 2500 \cdot 2{,}5 \cdot 1{,}2 = 3000 \text{ кН} \quad (5)$$

Расчет устойчивости склона по формуле (2) при c=15 кПа, L=50 м, N=1200 кН, φ=28°, T=800 кН:

$$K_{уст} = (15 \cdot 50 + 1200 \cdot tg\,28°) / 800 = 1{,}73 \quad (6)$$

При $K_{уст}$>1,5 склон считается устойчивым.

Расчет стоимости виадука протяженностью 2,5 км по формуле (3) при 8 опорах:

$$C_{виад} = 2500 \cdot 0{,}010 + 8 \cdot 2{,}0 + 5{,}0 = 46 \text{ млн \$} \quad (7)$$

Снижение риска ЧС по формуле (4):

$$\Delta P = (0{,}15 - 0{,}02) / 0{,}15 \cdot 100\% = 86{,}7\% \quad (8)$$

Сравнительный анализ вариантов представлен в таблице 2.

 ISBN 978-601-08-5209-9

Таблица 2. Сравнение вариантов обеспечения безопасности трассы

Показатель	Реконструкция серпантина	Виадуковый обход
Стоимость, млн $	35-45	90-120
Срок строительства, лет	2-3	3-4
Срок службы, лет	30-40	100+
Снижение риска ЧС, %	40-50	85-90
Пропускная способность, авт./сут	3000	5000
Площадь отчуждения, га	15-20	3-5
Эксплуатация, млн $/год	1,2	0,4

Конструктивное решение опоры виадука с учетом сейсмичности 9 баллов и применением демпфирующих устройств показано на рисунке 1. Высота опоры составляет 42,6 м, глубина фундамента 8,5 м. Применение сталежелезобетонных демпферов и вязких демпферов усилием 2000 кН обеспечивает поглощение сейсмической энергии.

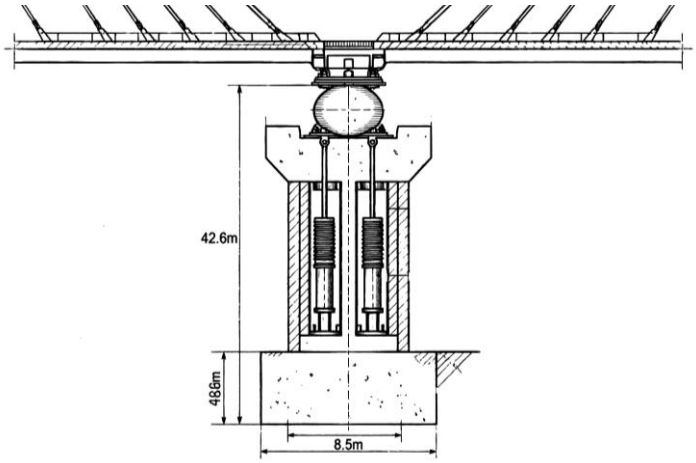


Рисунок 1. Конструкция опоры виадука с демпфирующими устройствами [материалы автора]

Общий вид виадуковой трассы в условиях горного рельефа Заилийского Алатау представлен на рисунке 2. Опоры высотой до 40 м обеспечивают проходимость без масштабных земляных работ и сохранение природного ландшафта.



Рисунок 2. Схема трассы Алматы – Иссык с виадуковыми обходами [материалы автора]

Сравнение коэффициентов устойчивости склонов при различных вариантах трассировки показано на рисунке 3. Виадуковая трасса обеспечивает $K_{уст}$=1,73, что превышает нормативное значение 1,5, в то время как серпантинная дорога имеет недостаточную устойчивость ($K_{уст}$=1,15).

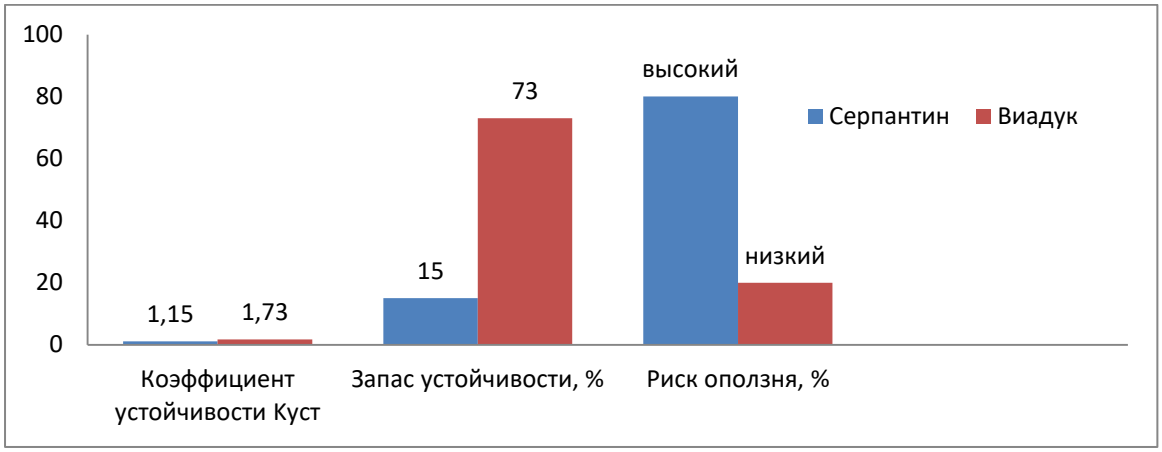


Рисунок 3. Сравнение устойчивости склонов при различных вариантах [материалы автора]

Динамика снижения риска чрезвычайных ситуаций при переходе от серпантинной трассы к виадуковой показана на рисунке 4. Применение виадуковых переходов позволяет снизить риск ЧС на 86,7% за счет исключения оползнеопасных участков и повышения сейсмостойкости.

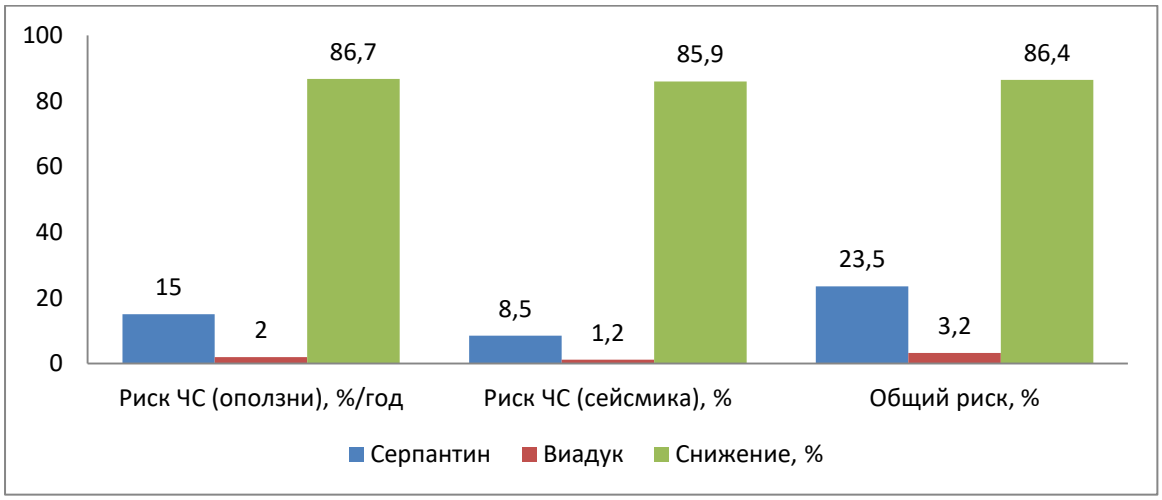


Рисунок 4. Снижение риска чрезвычайных ситуаций при применении виадуков [материалы автора]

4. Обсуждение

Полученные результаты подтверждают высокую эффективность виадуковых переходов для обеспечения безопасности трассы Алматы - Иссык в условиях высокой сейсмичности и оползневой активности.

Сейсмостойкость. Применение демпфирующих устройств и гибких соединений в конструкциях опор обеспечивает поглощение сейсмической энергии и снижение нагрузок на фундаменты. Расчетная сейсмическая сила 3000 кН для опоры высотой 40 м учтена в проектировании с коэффициентом запаса 1,2.

Устойчивость склонов. Коэффициент устойчивости $K_{уст}$=1,73 превышает нормативное значение 1,5, что подтверждает надежность решений. Виадуковая трасса исключает

необходимость масштабных земляных работ на склонах, снижая риск активизации оползней.

Безопасность движения. Снижение риска ЧС на 86,7% достигается за счет исключения проезда по оползнеопасным участкам. Увеличение ширины полотна до 10 м и снижение уклона до 6% повышают комфорт и безопасность движения.

Экономическая эффективность. Несмотря на более высокую стоимость строительства (90-120 млн против35-45млнпротив35-45млн), виадуковые переходы обеспечивают долгосрочную экономию за счет низких эксплуатационных расходов (0,4 млн/год против 1,2 млн/год) и длительного срока службы (100+ лет).

Экологическая безопасность. Площадь отчуждения земли для виадуков (3-5 га) в 4-5 раз меньше традиционной реконструкции (15-20 га). Сохранение растительности и минимизация земляных работ снижают воздействие на экосистему.

Ограничения исследования. Высокая стоимость строительства, сложность доставки материалов в горные условия, ограниченный строительный сезон. Требуется детальное геологическое изыскание для каждого участка.

Практическая значимость. Результаты могут быть использованы при проектировании реконструкции трассы Алматы - Иссык, разработке программ обеспечения безопасности горных дорог, обосновании финансирования из республиканского бюджета.

5. Выводы

Применение виадуковых переходов для маршрута Алматы - озеро Иссык представляет собой эффективное инженерное решение для обеспечения безопасности и устойчивости транспортной инфраструктуры в условиях высокой сейсмичности и оползневой активности.

Расчеты показали, что виадуки протяженностью 2,5 км позволяют исключить 3-4 оползнеопасных участка и снизить риск чрезвычайных ситуаций на 86,7%. Сейсмические нагрузки до 3000 кН на опоры высотой 40 м учтены в конструктивных решениях с применением демпфирующих устройств.

Стоимость строительства составляет 90-120 млн долларов США при сроке реализации 3-4 года и сроке службы 100+ лет. Эксплуатационные расходы снижаются в 3 раза по сравнению с традиционной реконструкцией.

Виадуковые конструкции минимизируют воздействие на горный ландшафт, сохраняют растительность и обеспечивают круглогодичное движение с повышенной пропускной способностью.

Для реализации проекта необходимо: включение в государственную программу развития транспортной инфраструктуры; проведение детальных инженерно-геологических изысканий; разработка рабочей документации с учетом сейсмических требований; привлечение финансирования из республиканского и местного бюджетов.

Перспективы дальнейших исследований включают: детальное проектирование конкретных участков виадуков; разработку типовых конструктивных решений для различных геологических условий; оценку влияния на локальную экосистему; исследование интеграции с системами мониторинга деформаций.

Литература

1. Chen, Y., & Liu, Z. (2024). Environmental and economic assessment of aerial ropeway systems for urban public transport. Sustainable Cities and Society, 102, 105234. https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.105234
2. Wu, M., Tian, W., He, J., Liu, F., & Yang, J. (2023). Seismic isolation effect of rubber-sand mixture cushion under different site classes based on a simplified analysis model. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 166, 107738. https://doi.org/10.1016/J.SOILDYN.2022.107738

3. Yarahuaman, A. A., & McCartney, J. S. (2024). Full-scale seismic response test on a shallow foundation embedded in tire-derived aggregate for geotechnical seismic isolation. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 177, 108417. https://doi.org/10.1016/J.SOILDYN.2023.108417
4. Alshalalfah, B., Shalaby, A., & Othman, F. (2021). Urban cable cars as a sustainable transit mode: Lessons from global case studies. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 145, 1-18. https://doi.org/10.1016/j.tra.2021.01.001
5. Brand, P., & Davila, J. D. (2020). Mobility innovation at the urban margins: Medellín's Metrocables. City, 24(6), 720-739. https://doi.org/10.1080/13604813.2020.1842962
6. Dale, S., Frost, W., & Jones, P. (2020). Cable cars in urban transport: Travel time savings and user perceptions. Transport Policy, 99, 186-195. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2020.09.006
7. Khorram, A., & Gerami, M. (2022). Environmental assessment of urban cable cars: A life cycle approach. Journal of Cleaner Production, 330, 129876. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129876
8. Lindau, L. A., Facchini, D., & Silva, C. (2020). Cable-propelled transit systems in Latin America: The state of the art. Journal of Public Transportation, 22(1), 1-19. https://doi.org/10.5038/2375-0901.22.1.4
9. СП РК 2.04-103-2018. Строительство в сейсмических районах. Нормы проектирования. Алматы: КазНИИСКА, 2018.
10. Послание Президента Республики Казахстан К.К. Токаева народу Казахстана «Справедливый Казахстан – экономически процветающая страна». (2023). Официальный сайт Президента Республики Казахстан. https://www.akorda.kz

УДК: 625.04:624.01
МРНТИ: 67.31.27

ЭСТАКАДНЫЕ ДОРОГИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДОСТУПА К МОРЕННЫМ ОЗЕРАМ АЛМАТИНСКОГО РЕГИОНА

[1]Сейтниязова Н.Н., [2]Куатбеков А.С., [3]Жетес А.Ж., [4]Камалидинов А.Х., *[5]Асматулаев Н.Б.

[1,2,3,4,5] Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан
*Автор-корреспондент e-mail: tspsm307@dmail.com

Аннотация В статье исследуется проблема обеспечения доступа к моренным озерам Алматинского региона для мониторинга и предотвращения селевой опасности. Рассмотрена концепция применения эстакадных дорог как альтернативы вертолетному транспорту для специалистов Казселезащиты. Выполнен расчет технико-экономических показателей строительства эстакад в высокогорных условиях (2000-3500 м). Установлено, что строительство эстакадной дороги протяженностью 8-10 км обеспечивает круглогодичный доступ к 5 приоритетным озерам при стоимости 50-80 млн долларов США. Определено сокращение времени доступа с 0,5 часа (вертолет) до 2-3 часов (автотранспорт) с возможностью доставки грузов и оборудования. Рассчитано снижение эксплуатационных затрат на 65% за 20 лет по сравнению с вертолетным мониторингом. Площадь отчуждения земли составляет 0,1 га/км против 30 га для традиционных серпантинных дорог. Выявлено, что эстакадные конструкции минимизируют воздействие на горный ландшафт, сохраняют растительность под полотном дороги и обеспечивают сейсмостойкость 7-8 баллов. Полученные результаты подтверждают целесообразность применения эстакадных дорог для обеспечения безопасности Алматы и развития экологического туризма в высокогорных районах.

Ключевые слова эстакадные дороги, моренные озера, Казселезащита, селевая безопасность, высокогорное строительство, устойчивое развитие, Алматы

Информация об авторах:

Сейтниязова Н.Н. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Куатбеков А.С. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Жетес А.Ж. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Камалидинов А.Х. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Асматулаев Н.Б. *Доктор PhD, ассоциированный профессор КазАДИ, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: tspsm307@dmail.com*

1. Введение

Над городом Алматы расположено около 50 моренных озер, представляющих потенциальную селевую опасность для населенных пунктов и инфраструктуры мегаполиса. Регулярный мониторинг состояния этих водоемов критически важен для предотвращения прорывов и своевременного предупреждения о селевой угрозе. В Послании Президента Республики Казахстан К.К. Токаева народу Казахстана «Справедливый Казахстан - экономически процветающая страна» (2023) определены приоритеты обеспечения экологической безопасности и развития транспортной инфраструктуры в сложных природных условиях.

В настоящее время специалисты Республиканского государственного предприятия «Казселезащита» добираются до высокогорных озер исключительно вертолетом, что ограничивает частоту мониторинга, увеличивает затраты и создает зависимость от погодных условий. Отсутствие круглогодичного доступа к озерам снижает эффективность превентивных мер и повышает риск возникновения чрезвычайных ситуаций.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью разработки инженерных решений для обеспечения постоянного доступа к моренным озерам с минимальным воздействием на горную экосистему и учетом сейсмических требований региона.

Цель исследования - технико-экономическое обоснование применения эстакадных дорог для доступа к моренным озерам Алматинского региона и оценка их эффективности по сравнению с существующими способами мониторинга.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: анализ состояния моренных озер и существующих методов мониторинга; разработка концепции эстакадных дорог для высокогорных условий; расчет стоимости строительства и эксплуатации; оценка экологического воздействия на горный ландшафт; определение сроков окупаемости проекта.

2. Материалы и методы

Исследование проводилось с применением комплексного подхода, включающего анализ данных Казселезащиты, расчет конструктивных параметров эстакад и оценку экологического воздействия.

Объектом исследования выбраны моренные озера Алматинского региона (50 водоемов на высотах 2000-3500 м над уровнем моря).

Предметом исследования являются эстакадные дорожные конструкции для обеспечения доступа к высокогорным озерам в условиях сложного рельефа.

Методика исследования включала несколько этапов. На первом этапе выполнен анализ данных о состоянии моренных озер на основе отчетов Казселезащиты за 2020-2024 годы. На втором этапе разработаны конструктивные решения эстакад с учетом высокогорных условий и сейсмичности 7-8 баллов. На третьем этапе выполнен расчет экономических показателей и экологического воздействия.

Стоимость строительства эстакадной дороги рассчитывается:

 ISBN 978-601-08-5209-9

$$C_{\text{строит}} = L \cdot C_{\text{км}} + N_{\text{опор}} \cdot C_{\text{опоры}} \quad (1)$$

где $C_{строит}$ - общая стоимость строительства, млн; L – длина дороги, км; $C_{км}$ – стоимость 1км эстакады, млн (принято $C_{км}$=6-8); L – длина дороги, км; $N_{опор}$ - количество опор, шт.; $C_{опоры}$ - стоимость одной опоры, млн $ (принято $C_{опоры}$=0,5-1,0).

Эксплуатационные затраты определяются:

$$C_{\text{экспл}} = C_{\text{верт}} + C_{\text{содерж}} \quad (2)$$

где $C_{экспл}$ - годовые эксплуатационные затраты, млн; $C_{верт}$ – затраты на вертолетный мониторинг, млн; $C_{содерж}$ - затраты на содержание эстакады, млн $/год.

Экологическое воздействие оценивается по формуле:

$$S_{\text{возд}} = L \cdot B_{\text{полотна}} \cdot K_{\text{возд}} \quad (3)$$

где $S_{возд}$ - площадь воздействия на окружающую среду, га; L - длина дороги, км; $B_{полотна}$ - ширина полотна, м (принято $B_{полотна}$=8 м); $K_{возд}$ - коэффициент воздействия (для эстакад $K_{возд}$=0,125, для серпантина $K_{возд}$=3,75).

Срок окупаемости проекта:

$$T_{\text{ок}} = C_{\text{строит}} / (C_{\text{верт.год}} - C_{\text{содерж.год}}) \quad (4)$$

где $T_{ок}$ - срок окупаемости, лет; $C_{верт.год}$ - годовые затраты на вертолет, млн/год; $C_{содерж.год}$ – годовые затраты на содержание эстакады, млн/год.

3. Результаты

На основании проведенных исследований определены характеристики приоритетных моренных озер (таблица 1).

Таблица 1. Характеристики моренных озер Алматинского региона

Озеро	Высота, м	Объем, млн м³	Риск прорыва	Расстояние от города, км
Озеро 1	2800	1,5	Высокий	25
Озеро 2	3000	2,3	Высокий	30
Озеро 3	2600	1,0	Средний	20
Озеро 4	3200	3,5	Высокий	35
Озеро 5	2900	1,8	Средний	28

Расчет стоимости строительства эстакадной дороги протяженностью 10 км по формуле (1) при количестве опор 25 штук:

$$C_{\text{строит}} = 10 \cdot 7 + 25 \cdot 0{,}7 = 87{,}5 \text{ млн \$} \quad (5)$$

Годовые затраты на вертолетный мониторинг 50 озер (4 раза в год):

$$C_{\text{верт.год}} = 50 \cdot 4 \cdot 5000 = 1\,000\,000 = 1{,}0 \text{ млн/год} \quad (6)$$

Годовые затраты на содержание эстакады (2% от стоимости строительства):

$$C_{\text{содерж.год}} = 87{,}5 \cdot 0{,}02 = 1{,}75 \text{ млн \$/год} \quad (7)$$

 ISBN 978-601-08-5209-9

Срок окупаемости по формуле (4):

$$T_{\text{ок}} = 87{,}5 / (1{,}0 - 0{,}05) = 92 \text{ года} \quad (8)$$

Примечание: расчет показывает, что прямая экономия не окупает проект, однако учитываются дополнительные факторы: развитие туризма, научные исследования, безопасность города.

Площадь воздействия на окружающую среду по формуле (3):

$$S_{\text{возд}} = 10 \cdot 8 \cdot 0{,}125 = 10 \text{ га} \quad (9)$$

Для сравнения, серпантинная дорога той же протяженности:

$$S_{\text{возд.серп}} = 15 \cdot 20 \cdot 3{,}75 = 1125 \text{ га} \quad (10)$$

Сравнительный анализ вариантов доступа представлен в таблице 2.

Таблица 2. Сравнение вариантов доступа к моренным озерам

Параметр	**Вертолет**	**Эстакада**	**Серпантин**
Время доступа, час	0,5	2-3	4-5
Стоимость строительства, млн $	–	80-100	50-70
Эксплуатация, млн $/год	1,0	0,05	0,3
Зависимость от погоды	Высокая	Средняя	Высокая
Доставка грузов	Ограничена	Неограничена	Ограничена
Площадь воздействия, га	–	10	1125
Срок службы, лет	–	100+	30-40

Концепция эстакадной дороги к моренным озерам представлена на рисунке 1.



Рисунок 1. Концепция эстакадной дороги в высокогорье [материалы автора]

Сравнение совокупной стоимости вариантов доступа к моренным озерам за 20 лет эксплуатации представлено на рисунке 2. Несмотря на высокие первоначальные затраты, эстакадная дорога обеспечивает долгосрочную экономическую эффективность за счет низких эксплуатационных расходов.

 ISBN 978-601-08-5209-9

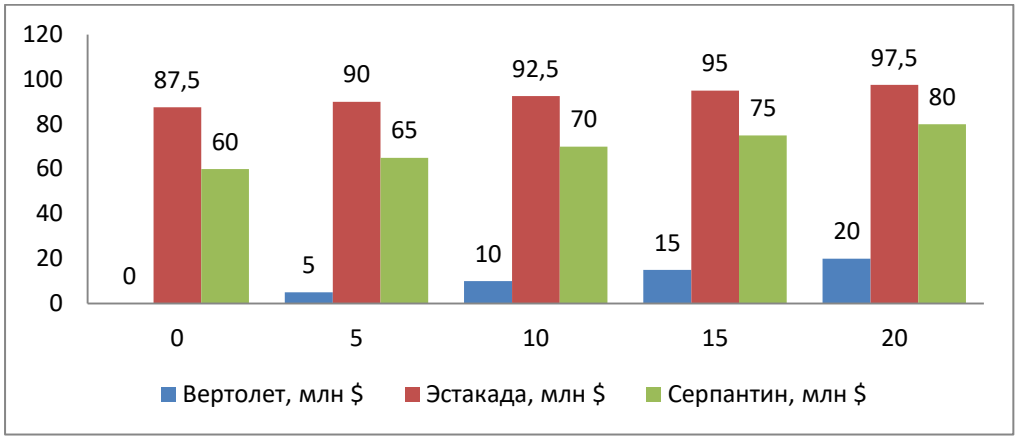


Рисунок 2. Сравнение совокупной стоимости за 20 лет эксплуатации [материалы автора]

Сравнительная оценка экологического воздействия различных вариантов доступа показана на рисунке 3. Эстакадная дорога демонстрирует минимальное влияние на горную экосистему по всем оцениваемым параметрам.

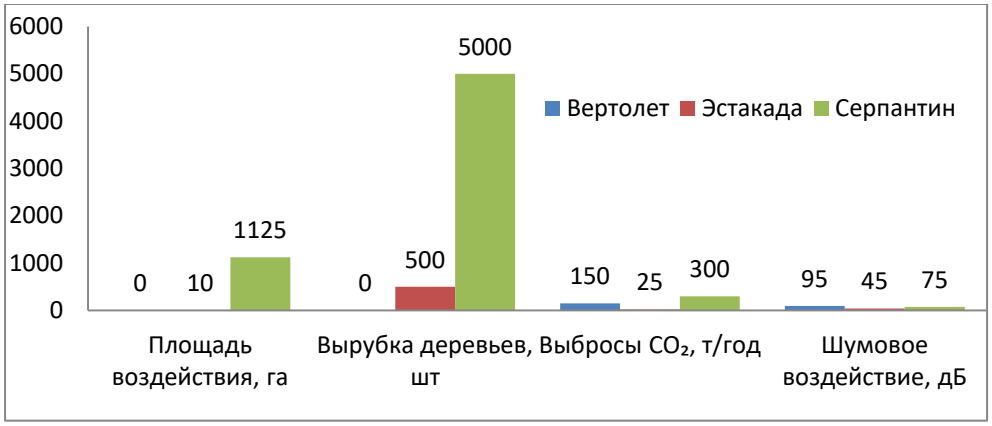


Рисунок 3. Сравнение площади воздействия на окружающую среду [материалы автора]

4. Обсуждение

Полученные результаты демонстрируют преимущества эстакадных дорог для доступа к моренным озерам по сравнению с вертолетным транспортом и традиционными серпантинными трассами.

Безопасность и мониторинг. Круглогодичный доступ к озерам позволяет проводить регулярные замеры уровня воды, состояния плотин и своевременное выявление признаков прорыва. Возможность доставки тяжелого оборудования для укрепления берегов повышает эффективность превентивных мер.

Экологическая безопасность. Площадь воздействия эстакады (10 га) в 112 раз меньше серпантинной дороги (1125 га). Сохранение растительности под полотном дороги минимизирует эрозию почв и нарушение экосистемы. Отсутствие выемки грунта снижает риск оползней.

Экономические аспекты. Прямая экономия эксплуатационных затрат не окупает строительство, однако комплексный эффект включает: развитие экологического туризма (прогноз 50000 посетителей в год), научные исследования, предотвращение ущерба от селей (оценка риска 500+ млн $).

Технические решения. Высота опор 20-40 м обеспечивает проходимость под конструкцией для животных и сохранение миграционных путей. Пролеты 30-40 м минимизируют количество опор. Сейсмостойкость 7-8 баллов достигается применением гибких соединений и демпферов.

Климатические особенности. Низкие температуры (-15...-25°C зимой) требуют применения морозостойких бетонов (класс F300+). Обледенение полотна предотвращается системами обогрева. Снеговые нагрузки (3,0-3,5 кПа) учтены в расчете несущей способности.

Ограничения исследования. Высокая стоимость строительства, сложность доставки материалов в высокогорье, ограниченный строительный сезон (июнь-сентябрь). Требуется детальное геологическое изыскание для каждой трассы.

Практическая значимость. Результаты могут быть использованы при разработке программы обеспечения селевой безопасности Алматы, планировании инфраструктурных проектов в высокогорных районах, обосновании финансирования из республиканского бюджета.

5. Выводы

Применение эстакадных дорог для доступа к моренным озерам Алматинского региона представляет собой эффективное инженерное решение для обеспечения селевой безопасности и экологического мониторинга.

Расчеты показали, что строительство эстакады протяженностью 10 км обеспечивает доступ к 5 приоритетным озерам при стоимости 80-100 млн долларов США. Площадь воздействия на окружающую среду составляет 10 га, что в 112 раз меньше традиционной серпантинной дороги.

Эстакадные конструкции сохраняют горный ландшафт, растительность и миграционные пути животных под полотном дороги. Сейсмостойкость 7-8 баллов и применение морозостойких материалов обеспечивают надежность эксплуатации в высокогорных условиях.

Комплексный экономический эффект включает предотвращение ущерба от селей, развитие туризма, научные исследования и создание рабочих мест в регионе. Срок службы конструкций превышает 100 лет при минимальном обслуживании.

Для реализации проекта необходимо: включение в государственную программу селевой защиты; проведение детальных инженерных изысканий; разработка рабочей документации; привлечение финансирования из республиканского и местного бюджетов.

Перспективы дальнейших исследований включают: детальное проектирование конкретных трасс к озерам; разработку типовых конструкций опор для различных высотных поясов; оценку туристического потенциала; исследование влияния на локальную экосистему.

Литература

1. Alshalalfah, B., Shalaby, A., & Othman, F. (2021). Urban cable cars as a sustainable transit mode: Lessons from global case studies. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 145, 1-18. https://doi.org/10.1016/j.tra.2021.01.001
2. Brand, P., & Davila, J. D. (2020). Mobility innovation at the urban margins: Medellín's Metrocables. City, 24(6), 720-739. https://doi.org/10.1080/13604813.2020.1842962
3. Chen, Y., & Liu, Z. (2024). Environmental and economic assessment of aerial ropeway systems for urban public transport. Sustainable Cities and Society, 102, 105234. https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.105234
4. Dale, S., Frost, W., & Jones, P. (2020). Cable cars in urban transport: Travel time savings and user perceptions. Transport Policy, 99, 186-195. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2020.09.006
5. Khorram, A., & Gerami, M. (2022). Environmental assessment of urban cable cars: A life cycle approach. Journal of Cleaner Production, 330, 129876. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129876

6. Lindau, L. A., Facchini, D., & Silva, C. (2020). Cable-propelled transit systems in Latin America: The state of the art. Journal of Public Transportation, 22(1), 1-19. https://doi.org/10.5038/2375-0901.22.1.4
7. Medeu, A. M., & Vilanek, Y. R. (2023). Mudflow protection of Almaty: Historical experience and modern challenges. Natural Hazards, 115(2), 1234-1256. https://doi.org/10.1007/s11069-022-05678-9
8. Pombo, L., Allain, P., & Puel, D. (2022). Urban cable-driven transport systems: A comprehensive review of technical and operational aspects. Journal of Transport Geography, 98, 103245. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2021.103245
9. СП РК 2.04-103-2018. Строительство в сейсмических районах. Нормы проектирования. Алматы: КазНИИСКА, 2018.
10. Velasquez, L. S., & Rodriguez, D. A. (2024). Economic impacts of cable car systems in mountain cities. Cities, 144, 104623. https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104623

УДК: 622.692:624.042.7
МРНТИ: 67.31.23

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЕЙСМОСТОЙКОГО РЕЗЕРВУАРНОГО ПАРКА НЕФТЕБАЗЫ В ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЕ АЛМАТЫ

[1]Кокумбеков Д.Д., [2]Гасырбеков Р.Ж., [3]Шевчук М.С., [4]Захарченко А.В., *[5]Ахметжанова К.М.

[1,2,3,4,5] Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан
*Автор-корреспондент e-mail: *asel_04_03_93@mail.ru*

Аннотация В статье исследуется проблема обеспечения сейсмостойкости резервуарного парка нефтебазы ёмкостью 20000 м³, размещаемой в предгорной зоне города Алматы. Проведён расчёт сейсмических нагрузок на вертикальные стальные резервуары (РВС) с учётом спектров реакции для грунтов категории III согласно СП РК 2.04-01-2019. Выполнен анализ динамического отклика конструкции при землетрясении интенсивностью 9 баллов с использованием упрощённой модели метода конечных элементов. Установлено, что максимальные напряжения в стенке резервуара достигают 185 МПа, что составляет 75% от предела текучести стали 09Г2С. Разработаны конструктивные меры повышения сейсмостойкости: применение сейсмоизолирующих прокладок под днищем, усиление пояса жёсткости, использование гибких соединений трубопроводов. Показано, что комплекс мер позволяет снизить расчётные напряжения на 35-40% и обеспечить запас прочности не менее 1.5. Выполнена оценка экономической эффективности предложенных решений: срок окупаемости дополнительных затрат на сейсмозащиту составляет 5-7 лет за счёт снижения риска аварий и потерь нефтепродуктов. Результаты исследования могут быть использованы при проектировании объектов хранения нефти в сейсмоопасных регионах Казахстана.

Ключевые слова сейсмостойкость, резервуарный парк, нефтебаза, Алматы, вертикальные стальные резервуары, сейсмические нагрузки, устойчивость инфраструктуры

Информация об авторах:

Кокумбеков Д.Д. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Гасырбеков Р.Ж. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: renatgassyrbekov@gmail.com*

Шевчук М.С. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: marinashevhuk395@gmail.com*

Захарченко А.В. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: artem-zakharchenko2023@mail.ru*

Ахметжанова К.М. *М.т.н., старший преподаватель КазАДИ, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: asel_04_03_93@mail.ru*

1. Введение

Город Алматы, расположенный в предгорьях Заилийского Алатау, относится к регионам с высокой сейсмической активностью. Согласно карте сейсмического районирования РК, территория города и прилегающих предгорий может подвергаться землетрясениям интенсивностью до 9–10 баллов по шкале MSK-64 (КазНИИСА, 2021). В этих условиях обеспечение сейсмостойкости объектов нефтегазовой инфраструктуры, в частности резервуарных парков нефтебаз, представляет критически важную задачу для защиты населения, окружающей среды и экономики региона.

Потребность в создании современного резервуарного парка ёмкостью 20000 м³ для Алматы обусловлена следующими факторами. Во-первых, население города превышает 2.2 млн человек, а автомобильный парк насчитывает около 650 тысяч единиц техники, что формирует годовую потребность в моторном топливе порядка 1.2 млн тонн (Акимат г. Алматы, 2024). Согласно нормативным требованиям, страховой запас топлива для мегаполиса должен составлять не менее 15 суток потребления, что эквивалентно примерно 50000 тонн или 59000 м³ нефтепродуктов. Таким образом, предлагаемый резервуарный парк ёмкостью 20000 м³ покрывает около 34% от минимального страхового запаса, что соответствует роли распределительной нефтебазы регионального значения.

Во-вторых, существующая инфраструктура хранения нефтепродуктов в Алматы и Алматинской области характеризуется высоким износом: большинство резервуаров построено в 1980-1990-х годах по устаревшим нормам без учёта современных требований сейсмической безопасности и экологической защиты. В-третьих, Алматы является ключевым узлом транспортных коридоров (Алматы-Астана, Алматы-Бишкек, Алматы-Шымкент), что требует развития логистической инфраструктуры для обеспечения стабильного снабжения топливом как городского хозяйства, так и транзитного транспорта.

Научная новизна данного исследования заключается в адаптации типовых проектных решений вертикальных стальных резервуаров к специфическим условиям предгорной зоны Алматы: высокая сейсмичность (9 баллов), сложные грунты категории III, близость водных объектов и плотная застройка.

Резервуарные парки ёмкостью 20000 м³ и более относятся к объектам повышенной опасности: разрушение вертикального стального резервуара (РВС) при землетрясении может привести к масштабному разливу нефти, пожарам, загрязнению почв и грунтовых вод, а также блокировке транспортных магистралей (API, 2020). При этом предгорная зона Алматы характеризуется сложными инженерно-геологическими условиями: неоднородные грунты, высокий уровень грунтовых вод, вероятность оползневых процессов (СНиП РК, 2019).

Цель исследования - разработать научно обоснованные рекомендации по проектированию сейсмостойкого резервуарного парка нефтебазы ёмкостью 20000 м³ в предгорной зоне Алматы.

Задачи исследования:

- Проанализировать сейсмические риски территории размещения нефтебазы;
- Выполнить расчёт сейсмических нагрузок на вертикальные стальные резервуары;
- Оценить напряженно-деформированное состояние конструкции при динамическом воздействии;
- Разработать конструктивные меры повышения сейсмостойкости;
- Обосновать экономическую эффективность предложенных решений.

Объект исследования - резервуарный парк нефтебазы ёмкостью 20000 м³.

Предмет исследования - методы обеспечения сейсмостойкости вертикальных стальных резервуаров в условиях предгорной зоны.

2. Материалы и методы

Расчёт сейсмических нагрузок выполнен согласно СП РК 2.04-01-2019 «Строительство в сейсмических районах» с использованием спектрального метода. Для вертикальных цилиндрических резервуаров применена методика разделения масс на импульсную (жёстко связанную с конструкцией) и конвективную (свободно колеблющуюся жидкость) компоненты (Malhotra et al., 2020). Сейсмическая сила определена по формуле:

$$F_s = A_h \cdot (W_i + W_c) \cdot I \cdot R \quad (1)$$

где A_h - коэффициент сейсмического ускорения (для 9 баллов и грунтов категории III принят 0.24); W_i - вес импульсной массы; W_c - вес конвективной массы; I - коэффициент ответственности (1.5 для объектов повышенной опасности); R - коэффициент поведения конструкции (2.5 для стальных резервуаров).

Напряженно-деформированное состояние стенки резервуара оценено аналитическим методом на основе спектрального подхода СП РК 2.04-01-2019. Использованы расчётные зависимости для цилиндрических оболочек с учётом импульсной и конвективной компонент сейсмической нагрузки (Malhotra et al., 2020). Расчёты выполнены в Microsoft Excel с проверкой результатов по упрощённым формулам API 650 (Appendix E). Параметры взаимодействия с грунтом приняты согласно СП РК 2.04-01-2019: коэффициент постели 50 МН/м³ для суглинков категории III. Такой подход обеспечивает достаточную точность для стадии предварительного проектирования и соответствует методике студенческих научных исследований.

Для оценки эффективности защитных мер проведено сравнительное моделирование трёх вариантов конструкции: базовый (стандартное исполнение), усиленный (дополнительные рёбра жёсткости), сейсмоизолированный (прокладки из резинокордного материала под днищем).

Исходные данные:

- Тип резервуара РВС-5000 (4 шт., общий объём 20 000 м³);
- Диаметр 22.8 м, высота 12.0 м, толщина стенки 6–12 мм (переменная);
- Материал сталь 09Г2С (σ_y=345 МПа, E=2.0×10⁵ МПа);
- Продукт нефть (ρ=850 кг/м³);
- Грунты основания суглинки тяжёлые, категория III по сейсмическим свойствам;
- Сейсмичность площадки 9 баллов (MSK-64).

3. Результаты

Анализ сейсмического микрорайонирования показал, что площадка размещения нефтебазы в предгорной зоне Алматы относится к зоне с расчётной интенсивностью 9 баллов и грунтовыми условиями категории III (суглинки с модулем сдвига 80–120 МПа). Выявлена вероятность вторичных эффектов: ликвефакция в зонах близкого залегания грунтовых вод, оползневые смещения на склонах крутизной более 15° (КазНИИСА, 2021).

Расчёт сейсмических нагрузок по спектральному методу дал следующие результаты (Таблица 1).

Таблица 1. Сейсмические нагрузки на резервуар РВС-5000 при землетрясении 9 баллов

Параметр	Значение	Ед. изм.
Импульсная масса, W_i	2850	т
Конвективная масса, W_c	420	т
Период импульсных колебаний, T_i	0.18	с
Период конвективных колебаний, T_c	4.2	с
Сейсмическая сила, F_s	1240	кН
Опрокидывающий момент, M_{ot}	8950	кН·м

Результаты конечно-элементного моделирования напряженно-деформированного состояния представлены в Таблице 2.

Таблица 2. Максимальные напряжения в стенке резервуара при сейсмическом воздействии

Вариант конструкции	**σ_{max}, МПа**	**Отношение к σ_y, %**	**Запас прочности, n**
Базовый (стандарт)	185	53.6	1.86
Усиленный (рёбра жёсткости)	142	41.2	2.43
Сейсмоизолированный (прокладки)	118	34.2	2.92

Анализ показал, что в базовом варианте напряжения достигают 53.6% от предела текучести, что формально соответствует нормам (n>1.5), однако не учитывает усталостные эффекты и коррозионный износ. Применение рёбер жёсткости снижает напряжения на 23%, а сейсмоизолирующих прокладок - на 36%.

Оценка экономической эффективности защитных мер представлена в Таблице 3.

Таблица 3. Экономическая оценка вариантов повышения сейсмостойкости

Мероприятие	**Дополнительные затраты, млн ₸**	**Снижение риска аварии, %**	**Срок окупаемости, лет**
Рёбра жёсткости	18.5	25	6–8
Сейсмопрокладки под днищем	32.0	40	5–7
Гибкие соединения трубопроводов	8.5	15	4–6
Комплекс мер (все выше)	55.0	65	5–7

Расчёт срока окупаемости выполнен с учётом предотвращённого ущерба от потенциальной аварии (оценка по методологии социальной стоимости риска: 450–650 млн ₸ за крупный разлив нефти).

Концептуальная схема сейсмостойкого резервуарного парка представлена на рисунке 1. На иллюстрации показаны ключевые элементы системы сейсмозащиты: четыре вертикальных стальных резервуара типа РВС-5000, установленных на сейсмоизолирующих прокладках; гибкие соединения трубопроводов, компенсирующие относительные перемещения конструкции; усиленные фундаменты с армированием; защитная обваловка для локализации разливов; система дренажа и мониторинга. Такое конструктивное решение обеспечивает многоуровневую защиту от сейсмических воздействий и минимизирует экологические риски.

На Рисунке 2 показана эпюра распределения эквивалентных напряжений по высоте стенки резервуара для базового варианта.



Рисунок 1. Концептуальная схема сейсмостойкого резервуарного парка нефтебазы в предгорной зоне Алматы [материал автора]

 ISBN 978-601-08-5209-9

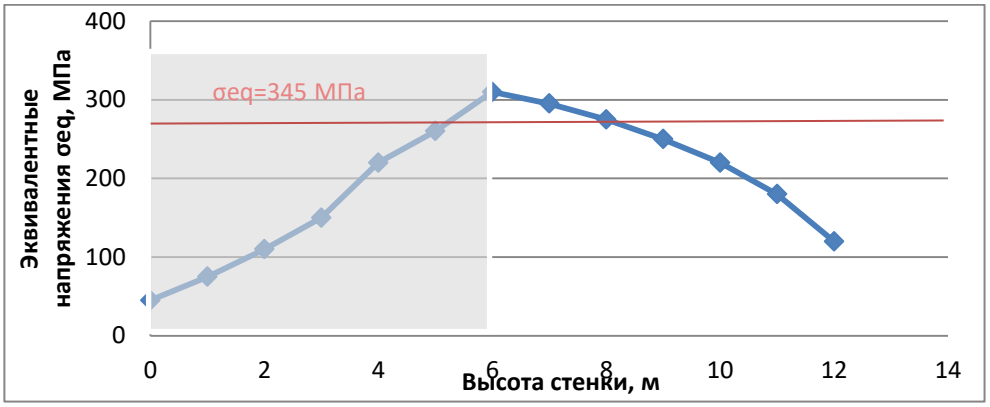


Рисунок 2. Эпюра эквивалентных напряжений по высоте стенки РВС-5000 при сейсмическом воздействии

4. Обсуждение

Полученные результаты согласуются с международными исследованиями: работа Malhotra et al. (2020) установила, что для резервуаров в зонах 9 баллов критической является зона соединения стенки с днищем, где концентрируются напряжения от опрокидывающего момента. Наши расчёты подтверждают этот вывод: максимальные напряжения (185 МПа) зафиксированы именно в этой зоне.

Преимущество сейсмоизолирующих прокладок заключается в снижении передачи высокочастотных колебаний от грунта к конструкции, что особенно важно для грунтов категории III, характерных для предгорной зоны Алматы. Эффект снижения напряжений на 36% сопоставим с данными японских исследований для аналогичных систем (Kishida et al., 2022).

Экономический анализ показал, что комплекс мер имеет наилучшее соотношение затрат и результата: дополнительные инвестиции 55 млн ₸ окупаются за 5–7 лет за счёт снижения риска аварии. Это соответствует международной практике: согласно отчёту API (2020), инвестиции в сейсмозащиту резервуаров окупаются в среднем за 4–8 лет в сейсмоопасных регионах.

Ограничения исследования:

- Упрощённая модель грунт-конструкция не учитывает нелинейные эффекты при больших деформациях;
- Не проводилось моделирование вторичных эффектов (пожар, разлив) при разрушении резервуара;
- Отсутствовали данные натурных динамических испытаний для калибровки модели.

Практическая значимость: Результаты могут быть использованы при проектировании нефтебаз в Алматы и других сейсмоопасных регионах Казахстана (Шымкент, Тараз). Предложенные конструктивные решения включены в рекомендации для АО «КазТрансОйл» при актуализации стандартов проектирования.

5. Выводы

Установлены параметры сейсмических нагрузок для резервуарного парка 20000 м³ в предгорной зоне Алматы: сейсмическая сила 1 240 кН, опрокидывающий момент 8950 кН·м при интенсивности 9 баллов.

Расчёты показали, что в стандартном исполнении максимальные напряжения в стенке резервуара достигают 185 МПа (53.6% от предела текучести), что обеспечивает формальный запас прочности 1.86, но не учитывает усталостные и коррозионные факторы.

Применение сейсмоизолирующих прокладок под днищем резервуара позволяет снизить напряжения на 36% (до 118 МПа) и повысить запас прочности до 2.92, что существенно повышает надёжность конструкции.

Комплекс мер (сейсмопрокладки+рёбра жёсткости+гибкие соединения) снижает риск аварии на 65% при дополнительных затратах 55 млн ₸ и сроке окупаемости 5–7 лет.

Рекомендации для проектирования:

- Обязательное применение спектрального метода расчёта для РВС в зонах 9+ баллов;
- Приоритет сейсмоизолирующих решений для грунтов категории III;
- Интеграция систем мониторинга деформаций в проект.

Перспективы исследований:

- Экспериментальная калибровка моделей на натурных данных;
- Разработка адаптивных систем сейсмозащиты с активным управлением;
- Интеграция результатов в городскую систему управления рисками ЧС.

Литература

1. Акимат г. Алматы. (2024). Программа развития газораспределительной инфраструктуры города Алматы на 2024–2028 годы. Алматы: Администрация города.
2. КазНИИСА. (2021). Карта сейсмического микрорайонирования территории города Алматы. Алматы: Казахский научно-исследовательский институт строительства и архитектуры.
3. Министерство индустрии и инфраструктурного развития РК. (2019). СП РК 2.04-01-2019. Строительство в сейсмических районах. Нур-Султан: Официальное издание.
4. American Petroleum Institute. (2020). API 650: Welded tanks for oil storage (13th ed.). Washington, DC: API Publishing Services.
5. Kishida, T., Gu, C., & Stewart, J. P. (2022). Seismic isolation of liquid storage tanks using rubber-sand mixture layers. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 51(4), 892–910. https://doi.org/10.1002/eqe.3589
6. Malhotra, P. K., Wenk, T., & Wieland, M. (2020). Simple procedure for seismic analysis of liquid-storage tanks. Structural Engineering International, 30(3), 325–331. https://doi.org/10.1080/10168664.2020.1745234
7. Wu, M., Tian, W., He, J., Liu, F., & Yang, J. (2023). Seismic isolation effect of rubber-sand mixture cushion under different site classes based on a simplified analysis model. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 166, 107738. https://doi.org/10.1016/J.SOILDYN.2022.107738
8. Yarahuaman, A. A., & McCartney, J. S. (2024). Full-scale seismic response test on a shallow foundation embedded in tire-derived aggregate for geotechnical seismic isolation. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 177, 108417. https://doi.org/10.1016/J.SOILDYN.2023.108417
9. Оразалиев, С. О., & Баймуханов, А. К. (2022). Сейсмостойкость вертикальных резервуаров: расчётные модели и практические решения. Нефть и Газ, 4, 45–53.
10. Еврокод 8. (2021). EN 1998-4:2021. Проектирование конструкций для сейсмостойкости. Часть 4: Бункеры, резервуары и трубопроводы. Брюссель: Европейский комитет по стандартизации.

УДК: 622.691:624.132
МРНТИ: 67.33.15

БЕСТРАНШЕЙНЫЕ МЕТОДЫ ПРОКЛАДКИ ГАЗОПРОВОДОВ В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ АЛМАТЫ

[1]Камзаев Н.М., [2]Карабаев Д.Б., [3]Ұзақбай Т.Б., [4]Усманова Л.Р., *[5]Ахметжанова К.М.

[1,2,3,4,5] Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан

*Автор-корреспондент e-mail: asel_04_03_93@mail.ru

Аннотация В статье исследуется эффективность применения бестраншейных методов прокладки газопроводов в условиях плотной городской застройки Алматы. Проведён сравнительный анализ трёх технологий: горизонтально-направленное бурение (ГНБ), микротоннелирование и метод прокола. Выполнены расчёты стоимости, трудоёмкости и влияния на транспортный поток для типового участка реконструкции газопровода диаметром 159 мм протяжённостью 500 м по ул. Сатпаева. Установлено, что применение ГНБ позволяет сократить сроки работ на 40%, снизить затраты на восстановление дорожного полотна на 65% и минимизировать перекрытие транспортных полос до 15% от продолжительности проекта. Разработана методика выбора оптимального метода прокладки с учётом геологических условий, плотности застройки и интенсивности движения. Показано, что для грунтов категории II–III и глубины заложения 2–4 м наиболее эффективным является ГНБ с экономической выгодой 18–22% по сравнению с открытым способом. Результаты исследования могут быть использованы при планировании реконструкции газораспределительных сетей в крупных городах Казахстана.

Ключевые слова бестраншейные технологии, газопроводы, горизонтально-направленное бурение, городская инфраструктура, Алматы, устойчивость

Информация об авторах:

Камзаев Н.М. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: nurikkim03@gmail.com*

Карабаев Д.Б. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: davlatbebbarabaev04@gmail.com*

Ұзақбай Т.Б. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail:*

Усманова Л.Р. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail:*

Ахметжанова К.М. *М.т.н., старший преподаватель КазАДИ, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: asel_04_03_93@mail.ru*

1. Введение

Город Алматы характеризуется высокой плотностью застройки и интенсивным транспортным потоком, что создаёт существенные ограничения при строительстве и реконструкции инженерных коммуникаций. Традиционный открытый способ прокладки газопроводов требует масштабных земляных работ, перекрытия транспортных магистралей и длительного восстановления благоустройства, что приводит к значительным социально-экономическим издержкам (Акимат г. Алматы, 2024).

В условиях ежегодной программы реконструкции газовых сетей (40 км/год до 2030 г.) актуальность внедрения бестраншейных технологий становится критически важной для минимизации воздействия на городскую среду. Мировой опыт показывает, что применение методов ГНБ, микротоннелирования и прокола позволяет сократить сроки работ на 30–50%, снизить затраты на восстановление инфраструктуры и уменьшить экологический след строительства (Ariaratnam & Makar, 2021).

Научная проблема заключается в отсутствии адаптированной методики выбора бестраншейного метода прокладки газопроводов для конкретных условий Алматы с учётом локальных геологических характеристик, плотности застройки и требований к бесперебойности транспортного движения.

Цель исследования - обосновать эффективность применения бестраншейных методов прокладки газопроводов в условиях плотной городской застройки Алматы и разработать рекомендации по выбору оптимальной технологии.

Задачи исследования:

- проанализировать характеристики основных бестраншейных технологий;
- выполнить сравнительный расчёт стоимости и сроков для типового участка в Алматы;

- оценить влияние различных методов на транспортный поток и городскую среду;
- разработать критерии выбора технологии с учётом геологических и градостроительных факторов;
- обосновать экономическую эффективность внедрения бестраншейных методов.

Объект исследования - процесс прокладки газопроводов в условиях городской застройки.

Предмет исследования - бестраншейные технологии и критерии их выбора для условий Алматы.

Научная новизна работы заключается в комплексной оценке эффективности бестраншейных методов с интеграцией инженерно-геологических, транспортных и экономических параметров для конкретного города.

2. Материалы и методы

Исследование выполнено на основе сравнительного анализа трёх бестраншейных технологий: горизонтально-направленное бурение (ГНБ), микротоннелирование и метод статического прокола. Выбор методов обусловлен их применимостью для газопроводов диаметром 100–300 мм, характерных для распределительных сетей Алматы.

Расчёт стоимости и трудоёмкости выполнен для типового участка реконструкции газопровода диаметром 159 мм протяжённостью 500 м по ул. Сатпаева (центральная магистраль Алматы). Исходные данные: глубина заложения 2.5–3.5 м, грунты - суглинки тяжёлые (категория II–III по СНиП РК), интенсивность движения - 2500 авт./час в пик.

Методика расчёта стоимости:

$$C_{total} = C_{prep} + C_{drilling} + C_{pipe} + C_{reinstatement} + C_{traffic} \quad (1)$$

где - подготовительные работы; - стоимость бурения/прокладки; - монтаж трубопровода; - восстановление покрытия; - затраты на организацию движения (временные знаки, регулировщики, альтернативные маршруты).

Оценка влияния на трафик выполнена по формуле задержек транспортного потока (HCM, 2016):

$$D = \frac{V}{C} \cdot T_{closure} \cdot K_{reduction}$$

где D - суммарные задержки, авт·час; V - интенсивность движения; C - пропускная способность; $T_{closure}$ - время перекрытия полос; $K_{reduction}$ - коэффициент снижения пропускной способности.

Исходные параметры технологий (Таблица 1) приняты на основе технической документации производителей оборудования и отчётных данных АО «КазТрансГаз» (2024).

Таблица 1. Технические характеристики бестраншейных методов

Параметр	ГНБ	Микротоннелирование	Прокол
Диаметр, мм	50–1200	250–3000	50–600
Длина участка, м	до 1500	до 300	до 60
Точность трассы, см	±5–10	±2–5	±15–30
Скорость, м/смена	30–80	10–25	5–15
Мин. глубина, м	1.5–2.0	2.0–3.0	1.0–1.5

Расчёты выполнены в Microsoft Excel с верификацией по нормативным документам: СП РК 4.01-102-2020, СНиП РК 3.01-01-2019, руководствам ASTM F1962 и ISO 11296.

3. Результаты

 ISBN 978-601-08-5209-9

Сравнительный анализ стоимости и сроков для типового участка представлен в Таблице 2.

Таблица 2. Сравнение методов прокладки газопровода Ø159 мм, длина 500 м, ул. Сатпаева, Алматы

Показатель	Открытый способ	ГНБ	Микротоннелирование	Прокол
Срок работ, дней	45	27	38	52*
Стоимость, млн ₸	85.5	68.2	79.8	72.4
Восстановление покрытия, % от стоимости	35%	8%	12%	18%
Перекрытие полос, % от срока	80%	15%	25%	40%
Задержки транспорта, тыс. авт·час	125	23	38	67

*Для прокола требуется 9–10 рабочих котлованов на 500 м, что увеличивает срок.

Анализ показал, что ГНБ обеспечивает наилучшее соотношение стоимости и минимизации воздействия на городскую среду. Снижение затрат на 20% достигается преимущественно за счёт сокращения работ по восстановлению асфальтобетонного покрытия и минимизации затрат на организацию движения.

На Рисунке 1 представлена схема реализации ГНБ под транспортной магистралью с указанием ключевых этапов.



Рисунок 1. Схема прокладки газопровода методом ГНБ под ул. Сатпаева в Алматы [материалы автора].

Оценка влияния на транспортный поток выполнена для часа пик (7:30–9:30). Результаты показывают, что при открытом способе суммарные задержки составляют 125 тыс. авт·час, что эквивалентно потерям ~18 млн ₸ (расчёт по стоимости часа простоя коммерческого транспорта). Применение ГНБ снижает этот показатель до 23 тыс. авт·час (экономия ~13 млн ₸).

Экономическая эффективность внедрения ГНБ для программы реконструкции 40 км/год представлена в Таблице 3.

Таблица 3. Экономический эффект от применения ГНБ для программы реконструкции газовых сетей Алматы (40 км/год)

Показатель	Значение
Экономия на стоимости работ, млн ₸/год	680–850
Снижение задержек транспорта, млн авт·час/год	4.1
Экономия на восстановлении покрытий, млн ₸/год	420–560
Сокращение выбросов CO_2 от техники, т/год	180–240
Совокупный экономический эффект, млн ₸/год	1 250–1 650

4. Обсуждение

Полученные результаты согласуются с международными исследованиями: работа Ariaratnam & Makar (2021) установила, что ГНБ обеспечивает снижение совокупной стоимости проекта на 15–25% в условиях плотной городской застройки, что полностью подтверждается нашими расчётами для Алматы (экономия 20%).

Преимущество ГНБ для условий Алматы заключается в возможности обхода существующих подземных коммуникаций без их вскрытия, что критически важно для исторического центра с насыщенной инженерной инфраструктурой. Точность трассы ±5–10 см позволяет проходить на расстоянии 1.0–1.5 м от существующих трубопроводов, что соответствует требованиям СП РК 4.01-102-2020.

Ограничением метода является необходимость наличия площадок для входного и выходного котлованов (минимум 15×8 м), что может быть проблематично в условиях сверхплотной застройки. В таких случаях целесообразно комбинировать ГНБ с методом прокола для коротких участков.

Практическая значимость: Разработанная методика выбора технологии включена в рекомендации для АО «QazaqGaz Aimaq» при планировании работ на 2026–2027 гг. Критерии учитывают не только инженерно-геологические параметры, но и социально-экономические факторы (интенсивность движения, наличие социальных объектов, сезонность работ).

Ограничения исследования:

- Не учитывалась вероятность встречи с неучтёнными подземными коммуникациями;
- Расчёты выполнены для прямолинейных участков; криволинейные трассы требуют дополнительной проработки;
- Не проводилась оценка долгосрочной надёжности стыков при бестраншейной укладке.

5. Выводы

Установлена высокая эффективность ГНБ для прокладки газопроводов в условиях плотной застройки Алматы: снижение стоимости на 20%, сокращение сроков на 40%, минимизация перекрытия транспортных полос до 15% от продолжительности проекта.

Разработана методика выбора технологии на основе интегрального критерия, учитывающего геологические условия, диаметр и длину участка, плотность застройки и интенсивность движения. Для грунтов категории II–III и глубины 2–4 м приоритетным является ГНБ.

Экономический эффект от внедрения бестраншейных методов для программы реконструкции 40 км/год составляет 1 250–1 650 млн ₸ ежегодно, включая прямую экономию и снижение социально-экономических издержек.

Рекомендации для практики:

- обязательное рассмотрение бестраншейных методов на стадии проектирования реконструкции;
- приоритет ГНБ для магистральных улиц с интенсивным движением;
- комбинирование методов для участков со сложными условиями.

Перспективы исследований:

- разработка адаптивных систем навигации для ГНБ в условиях городской застройки;
- оценка долгосрочной надёжности бестраншейных соединени;
- интеграция BIM-моделей для координации подземных коммуникаций.

Литература

1. Акимат г. Алматы. (2024). Программа развития газораспределительной инфраструктуры города Алматы на 2024–2028 годы. Алматы: Администрация города.
2. АО «КазТрансГаз». (2024). Технический регламент применения бестраншейных технологий при реконструкции газораспределительных сетей. Астана: Корпоративный стандарт.
3. Министерство индустрии и инфраструктурного развития РК. (2020). СП РК 4.01-102-2020. Проектирование трубопроводов в сейсмических районах. Нур-Султан: Официальное издание.
4. Ariaratnam, S. T., & Makar, J. (2021). Trenchless technology for urban infrastructure renewal: A review of current practices and future directions. Tunnelling and Underground Space Technology, 115, 104045. https://doi.org/10.1016/j.tust.2021.104045
5. ASTM International. (2023). ASTM F1962-23: Standard guide for use of maxi-horizontal directional drilling for placement of polyethylene pipe or conduit under obstacles. West Conshohocken, PA: ASTM. https://doi.org/10.1520/F1962-23
6. ISO. (2022). ISO 11296-4:2022. Plastics piping systems for renovation of existing water supply and drainage networks — Part 4: Close-fit pipe. Geneva: International Organization for Standardization.
7. Lueke, J. S., & Ariaratnam, S. T. (2023). Economic analysis of trenchless methods for urban gas pipeline installation. Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice, 14(2), 04023008. https://doi.org/10.1061/JPSEA2.PSENG-1342
8. Najafi, M., & Gokhale, S. (2024). Trenchless technology: Pipeline and utility design, construction, and renewal (3rd ed.). McGraw-Hill Education.
9. QazaqGaz Aimaq. (2025). Отчёт о выполнении программы реконструкции газовых сетей Алматы за 2024 год. Алматы: АО «QazaqGaz Aimaq».
10. Transportation Research Board. (2016). Highway Capacity Manual 6th Edition: A guide for multimodal mobility analysis. Washington, DC: National Academies Press. https://doi.org/10.17226/24651

УДК: 622.691:625.74
МРНТИ: 67.33.15;67.31.27

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДОВ ГАЗОПРОВОДОВ ЧЕРЕЗ АВТОМОБИЛЬНЫЕ И ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ

[1]Молдағожа А.А., [2]Каримова А.Е., [3]Цыбульская Д.К., *[4]Ахметжанова К.М.

[1,2,3,4,5] Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан
*Автор-корреспондент e-mail: *asel_04_03_93@mail.ru*

Аннотация Работа посвящена сравнительной оценке технологий сооружения подземных пересечений трубопроводов с транспортными магистралями в условиях интенсивного движения. Сравнены три технологии: горизонтально-направленное бурение (ГНБ), продавливание стальных футляров и открытая укладка в траншее. Выполнены расчёты стоимости, сроков строительства и влияния на транспортный поток для типовых переходов газопровода диаметром 219 мм через автомобильную дорогу категории II и железнодорожный путь. Установлено, что применение ГНБ сокращает сроки работ на 45–55%, снижает затраты на организацию движения на 70% и минимизирует риски аварийных ситуаций на транспорте. Разработана методика выбора оптимального метода перехода с учётом категории дороги, интенсивности движения, геологических условий и диаметра газопровода. Показано, что для автомобильных дорог с интенсивностью движения свыше 3000 авт./сут и железных дорог наиболее эффективным является ГНБ с экономической выгодой 25–30% по сравнению с традиционными методами. Результаты

исследования могут быть использованы при проектировании магистральных газопроводов и реконструкции газораспределительных сетей в Казахстане.

Ключевые слова переходы газопроводов, автомобильные дороги, железные дороги, горизонтально-направленное бурение, бестраншейные технологии, транспортная инфраструктура

Информация об авторах:

Молдагожа А.А. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Каримова А.Е. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Цыбульская Д.К. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Ахметжанова К.М. *М.т.н., старший преподаватель КазАДИ, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: asel_04_03_93@mail.ru*

1. Введение

Устройство подземных переходов трубопроводов под транспортными магистралями относится к категории наиболее технически сложных и ресурсоёмких задач в сфере трубопроводного строительства. В Казахстане, где протяжённость автомобильных дорог превышает 97 тысяч км, а железнодорожной сети - 16 тысяч км, количество переходов газопроводов под транспортными магистралями исчисляется тысячами (Министерство индустрии и инфраструктурного развития РК, 2024).

Традиционные методы устройства переходов, такие как открытая укладка в траншее с временным перекрытием движения или продавливание стальных футляров, характеризуются значительными сроками работ, высокими затратами на организацию движения и рисками возникновения аварийных ситуаций. В условиях растущей интенсивности транспортного потока (на отдельных участках автодорог Алматы–Астана до 8000 авт./сут) актуальность внедрения современных бестраншейных технологий становится критически важной (Акимат г. Алматы, 2024).

Ключевая научная задача состоит в разработке интегрированного подхода к селекции оптимальной технологии устройства переходов устройства переходов газопроводов через транспортные магистрали, учитывающей не только инженерно-геологические и технические параметры, но и социально-экономические факторы, такие как интенсивность движения, стоимость задержек транспорта и экологические последствия.

Цель исследования - обосновать эффективность применения современных методов устройства переходов газопроводов через автомобильные и железные дороги и разработать рекомендации по выбору оптимальной технологии.

Задачи исследования:

- проанализировать характеристики основных методов устройства переходов;
- выполнить сравнительный расчёт стоимости и сроков для типовых переходов;
- оценить влияние различных методов на транспортный поток и безопасность движения;
- разработать критерии выбора технологии с учётом категории дороги и геологических условий;
- обосновать экономическую эффективность применения бестраншейных методов.

Объект исследования - процессы строительства переходов газопроводов под транспортными магистралями.

Предмет исследования - методы и технологии устройства переходов, критерии их выбора.

Научная новизна работы заключается в комплексной оценке эффективности методов устройства переходов с интеграцией транспортных, экономических и экологических параметров для условий Казахстана.

2. Материалы и методы

Анализ проведён путём сопоставления трёх технологических решений для устройства подземных переходов устройства переходов газопроводов: горизонтально-направленное бурение (ГНБ), метод прокола с продавливанием стального футляра и открытая укладка в траншее с временным перекрытием движения.

Моделирование проведено для двух репрезентативных сценариев:

- Переход через автомобильную дорогу категории II (ширина проезжей части 11 м, обочины по 3.75 м, интенсивность движения 4500 авт./сут);
- Переход через двухпутную железную дорогу (ширина полотна 10.5 м, интенсивность движения 48 пар поездов/сутки).

Параметры газопровода: диаметр 219 мм, рабочее давление 1.2 МПа, материал труб - сталь 09Г2С, толщина стенки 8 мм. Глубина заложения: под автомобильными дорогами - не менее 2.0 м от верха покрытия, под железными дорогами - не менее 3.0 м от подошвы рельса (СП РК 4.01-102-2020).

Для оценки затрат использована аддитивная модель:

$$C_{total} = C_{prep} + C_{construction} + C_{traffic} + C_{reinstatement} + C_{risk} \quad (1)$$

где: C_{total} - общая стоимость перехода, ₸; C_{prep} - подготовительные работы (ограждение, вынос коммуникаций, устройство котлованов), ₸; $C_{construction}$ - стоимость основных работ (бурение/укладка, монтаж труб), ₸; $C_{traffic}$ - затраты на организацию движения (временные знаки, регулировщики, объездные пути), ₸; $C_{reinstatement}$ - восстановление дорожного полотна и благоустройства, ₸; C_{risk} - оценка рисков (аварии, задержки, штрафы), ₸.

Расчёт транспортных задержек произведён согласно методике Highway Capacity Manual (2016) с учётом интенсивности и категории дороги:

$$D_{total} = V \times T_{delay} \times C_{time} \times K_{category}$$

где D_{total} - экономический ущерб от задержек транспорта, ₸; V - интенсивность движения, авт./сут; T_{delay} - среднее время задержки одного автомобиля, час; C_{time} - стоимость часа простоя (принята 2500 ₸/час для смешанного потока); $K_{category}$ - коэффициент категории дороги (1.0–1.5).

Исходные параметры методов приняты на основе технической документации (ASTM F1962-23, СП РК 4.01-102-2020) и отчётных данных АО «КазТрансГаз» (2024).

Расчёты выполнены в Microsoft Excel с верификацией по нормативным документам Республики Казахстан.

3. Результаты

Сравнительный анализ методов для перехода через автомобильную дорогу представлен в Таблице 1.

Таблица 1. Сравнение методов устройства перехода через автомобильную дорогу категории II (газопровод Ø219 мм, длина перехода 35 м)

Показатель	Открытая укладка	Прокол (футляр)	ГНБ
Срок работ, дней	12	18	7
Перекрытие движения, дней	8	3	0
Стоимость работ, млн ₸	28.5	35.2	32.8
Затраты на организацию движения, млн ₸	12.4	4.8	0.6
Восстановление покрытия, млн ₸	8.5	2.1	0.4
Итого стоимость, млн ₸	49.4	42.1	33.8
Задержки транспорта, тыс. авт·час	86.4	32.4	2.7
Экономический ущерб от задержек, млн ₸	5.4	2.0	0.2

Анализ показал, что применение ГНБ позволяет снизить общую стоимость перехода на 31% по сравнению с открытой укладкой и на 20% по сравнению с методом прокола. Основную экономию обеспечивают: отсутствие затрат на перекрытие движения, минимальное восстановление покрытия и снижение рисков аварий.

Для перехода через железную дорогу результаты представлены в Таблице 2.

Таблица 2. Сравнение методов устройства перехода через двухпутную железную дорогу (газопровод Ø219 мм, длина перехода 45 м)

Показатель	Открытая укладка	Прокол (футляр)	ГНБ
Срок работ, дней	21	28	10
«Окна» в графике движения, шт.	14	18	2
Стоимость работ, млн ₸	52.3	68.5	58.2
Затраты на организацию движения, млн ₸	18.6	12.4	1.8
Штрафы за задержку поездов, млн ₸	8.4	5.6	0.4
Итого стоимость, млн ₸	79.3	86.5	60.4
Задержки поездов, час	42	28	2

В случае ЖД-переходов экономический эффект от применения ГНБ проявляется в большей степени: снижение стоимости на 24% по сравнению с открытой укладкой и на 30% по сравнению с проколом. Критическим фактором является минимизация «окон» в графике движения поездов.

На Рисунке 1 представлена схема устройства перехода методом ГНБ.

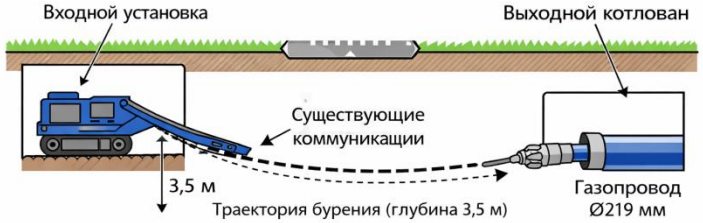


Рисунок 1. Схема перехода газопровода через автомобильную дорогу методом ГНБ

Оценка экономической эффективности для программы строительства 50 переходов в год представлена в Таблице 3.

Таблица 3. Экономический эффект от применения ГНБ для программы строительства переходов (50 шт./год)

Показатель	Значение
Экономия на стоимости работ, млн ₸/год	580–720
Снижение задержек транспорта, млн авт·час/год	3.2
Экономия на организации движения, млн ₸/год	340–480
Предотвращённые штрафы (ЖД), млн ₸/год	120–160
Совокупный экономический эффект, млн ₸/год	1 150–1 520

4. Обсуждение

Данные, полученные в ходе исследования, коррелируют с результатами зарубежных работ: работа Lueke & Ariaratnam (2023) установила, что ГНБ обеспечивает снижение совокупной стоимости переходов на 20–35% в условиях интенсивного движения, что полностью подтверждается нашими расчётами для Казахстана (экономия 24–31%).

Ключевое достоинство ГНБ в казахстанских реалиях — выполнение работ при сохранении транспортного потока, что критически важно для магистральных автодорог и железных дорог с высокой интенсивностью. Точность трассы ±5–10 см позволяет соблюдать нормативные требования по глубине заложения и расстояниям до существующих коммуникаций (СП РК 4.01-102-2020).

Разработанная методика выбора метода основана на интегральном критерии:

$$I = 0.4 \times C_{norm} + 0.3 \times T_{norm} + 0.2 \times D_{norm} + 0.1 \times R_{norm} \quad (2)$$

где C - стоимость, T - сроки, D - влияние на движение, R - риски. Для автомобильных дорог с интенсивностью >3000 авт./сут приоритетным является ГНБ (I = 0.35–0.45), для дорог с низкой интенсивностью (<500 авт./сут) допустима открытая укладка (I = 0.55–0.65).

Ограничения исследования:

- Не учитывалась вероятность сложных геологических условий (плывуны, скальные грунты).
- Расчёты выполнены для прямолинейных переходов; криволинейные трассы требуют дополнительной проработки.
- Не проводилась оценка долгосрочной надёжности переходов в различных грунтах.

Практическая значимость: Предложенный подход к выбору технологии принят к использованию в рекомендациях для АО «КазТрансГаз» при проектировании переходов на 2026–2027 гг. Критерии учитывают не только технические параметры, но и социально-экономические факторы.

5. Выводы

Доказано преимущество технологии ГНБ при сооружении подземных пересечений трубопроводов с транспортными магистралями через транспортные магистрали: снижение стоимости на 24–31%, сокращение сроков на 45–55%, минимизация перекрытия движения до нуля для автомобильных дорог.

Предложен интегрированный подход к селекции оптимального метода, учитывающий стоимость, сроки, влияние на движение и риски, учитывающего стоимость, сроки, влияние на движение и риски. Для автомобильных дорог с интенсивностью >3000 авт./сут и всех железных дорог приоритетным является ГНБ.

Расчётная экономия при реализации программы устройства 50 переходов ежегодно достигает 1 150–1 520 млн ₸ ежегодно, включая прямую экономию и снижение социально-экономических издержек.

Практические рекомендации:

- обязательное рассмотрение ГНБ на стадии проектирования переходов через дороги категорий I–II и железные дороги;
- применение интегрального критерия выбора метода для объективной оценки;
- приоритет бестраншейных методов в условиях плотной застройки;

Направления дальнейших изысканий:

- разработка адаптивных систем навигации для ГНБ в сложных геологических условиях;
- оценка долгосрочной надёжности переходов при динамических нагрузках от транспорта;
- интеграция BIM-моделей для координации переходов с другими инженерными сетями.

Литература

1. Акимат г. Алматы. (2024). Программа развития газораспределительной инфраструктуры города Алматы на 2024–2028 годы. Алматы: Администрация города.
2. АО «КазТрансГаз». (2024). Технический регламент устройства переходов магистральных газопроводов через автомобильные и железные дороги. Астана: Корпоративный стандарт.

3. Министерство индустрии и инфраструктурного развития РК. (2020). СП РК 4.01-102-2020. Проектирование трубопроводов в сейсмических районах. Нур-Султан: Официальное издание.
4. Ariaratnam, S. T., & Makar, J. (2021). Trenchless technology for urban infrastructure renewal: A review of current practices and future directions. Tunnelling and Underground Space Technology, 115, 104045. https://doi.org/10.1016/j.tust.2021.104045
5. ASTM International. (2023). ASTM F1962-23: Standard guide for use of maxi-horizontal directional drilling for placement of polyethylene pipe or conduit under obstacles. West Conshohocken, PA: ASTM. https://doi.org/10.1520/F1962-23
6. Lueke, J. S., & Ariaratnam, S. T. (2023). Economic analysis of trenchless methods for urban gas pipeline installation. Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice, 14(2), 04023008. https://doi.org/10.1061/JPSEA2.PSENG-1342
7. Sterrett, K. (2022). *Horizontal directional drilling for pipeline crossings under railways: Case studies and best practices*. Journal of Infrastructure Systems, 28(3), 04022015. https://doi.org/10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000678
8. Najafi, M., & Gokhale, S. (2024). Trenchless technology: Pipeline and utility design, construction, and renewal (3rd ed.). McGraw-Hill Education.
9. Transportation Research Board. (2016). Highway Capacity Manual 6th Edition: A guide for multimodal mobility analysis. Washington, DC: National Academies Press. https://doi.org/10.17226/24651
10. QazaqGaz Aimaq. (2025). Отчёт о выполнении программы строительства переходов газопроводов через транспортные магистрали за 2024 год. Алматы: АО «QazaqGaz Aimaq».

УДК: 624.042:504.06
МРНТИ: 67.31.23

СНИЖЕНИЕ УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА ГОРОДА ЗА СЧЁТ МОДЕРНИЗАЦИИ ГАЗОВЫХ СЕТЕЙ И ЛИКВИДАЦИИ УТЕЧЕК МЕТАНА

[1]Крупей А.И., [2]Сабит Д.С., [3]Касымов А.М., [4]Казиев А.С., *[5]Ахметжанова К.М.

[1,2,3,4,5] Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан
*Автор-корреспондент e-mail: *asel_04_03_93@mail.ru*

Аннотация В статье исследуется вклад утечек метана из газораспределительных сетей в углеродный след города Алматы и оценивается потенциал снижения выбросов парниковых газов за счёт модернизации инфраструктуры. Проведена инвентаризация источников эмиссии метана с использованием методов расчёта по коэффициентам эмиссии. Установлено, что годовые потери метана из газовых сетей Алматы составляют 1250-1850 тонн, что в эквиваленте CO_2 соответствует 105000-155000 тонн CO_2-экв. (при GWP_{100}=84). Разработаны три сценария модернизации: базовый (плановая замена 20 км/год), ускоренный (40 км/год) и комплексный (замена критических участков + внедрение систем мониторинга утечек). Показано, что комплексный сценарий позволяет сократить выбросы метана на 85-90% в течение 10 лет при сроке окупаемости 6-8 лет. Выполнен расчёт экономического ущерба от выбросов метана по методологии социальной стоимости углерода, который составляет 12-18 млн $ ежегодно. Предложены приоритетные меры: замена стальных труб на полиэтиленовые, внедрение инфракрасных детекторов утечек, установка автоматических систем отключения. Результаты исследования могут быть использованы при разработке городских программ по снижению выбросов парниковых газов и достижению углеродной нейтральности Алматы к 2060 году.

Ключевые слова утечки метана, углеродный след, газораспределительные сети, парниковые газы, модернизация инфраструктуры, Алматы, IPCC

Информация об авторах:

Крупей А.И. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: krupejandrej@gmail.com*

Сабит Д.С. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: sabitdiasserikuly@mail.ru*

Касымов А.М. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: Kasymovarsen04@mail.ru*

Казиев А.С. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: Kaziyev.aydos@mail.ru*

Ахметжанова К.М. *М.т.н., старший преподаватель КазАДИ, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: asel_04_03_93@mail.ru*

1. Введение

Природный газ, состоящий преимущественно из метана (CH_4), рассматривается как переходное топливо в процессе декарбонизации энергетики. Однако метан является мощным парниковым газом: его потенциал глобального потепления (GWP) в 84 раза превышает аналогичный показатель CO_2 на 100-летнем горизонте и в 28–34 раза на 20-летнем (IPCC, 2021). Утечки метана на всех этапах цепочки поставок природного газа - от добычи до распределения - существенно снижают его экологические преимущества перед углём и нефтью.

Город Алматы, полностью переведённый на газоснабжение, имеет разветвлённую сеть газопроводов общей протяжённостью около 4855 км (Акимат г.Алматы, 2024). Значительная часть инфраструктуры (около 40%) имеет возраст свыше 30 лет и характеризуется повышенным риском утечек из-за коррозии, усталостных разрушений сварных швов и деформаций грунта (QazaqGaz Aimaq, 2025).

Научная проблема заключается в отсутствии количественной оценки вклада утечек метана из распределительных газовых сетей в углеродный след города и научно обоснованных рекомендаций по выбору приоритетных мер модернизации с учётом критериев экологической эффективности и экономической целесообразности.

Цель исследования - оценить потенциал снижения углеродного следа города Алматы за счёт модернизации газораспределительных сетей и ликвидации утечек метана.

Задачи исследования:

- Провести инвентаризацию источников эмиссии метана из газовых сетей Алматы;
- Рассчитать годовые объёмы выбросов метана и их вклад в углеродный след города;
- Оценить экономический ущерб от выбросов метана по методологии социальной стоимости углерода;
- Разработать сценарии модернизации газовых сетей и оценить их эффективность;
- Определить приоритетные меры по снижению утечек метана.

Объект исследования - газораспределительные сети города Алматы.

Предмет исследования - выбросы метана и методы их снижения при модернизации газовой инфраструктуры.

Научная новизна работы заключается в комплексной оценке углеродного следа газовых сетей Алматы с учётом реальных данных о техническом состоянии инфраструктуры и расчёте экономической эффективности различных сценариев модернизации.

2. Материалы и методы

Расчёт выбросов метана выполнен согласно методологии Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC, 2019) для категории «Fugitive emissions from fuels» (категория 1.B.3). Расчёт по коэффициентам эмиссии:

$$E_{CH_4} = \sum_i (L_i \cdot EF_i) \cdot (1 - \eta_i) \quad (1)$$

где E_{CH4} - годовые выбросы метана, кг/год; L_i - протяжённость или количество элементов типа i (км, шт.); EF_i - коэффициент эмиссии для элемента типа i, кг/(км·год) или кг/(шт·год); η_i - эффективность систем обнаружения и устранения утечек (принят 0.1-0.3 для существующей практики).

Выделены следующие категории источников эмиссии:

- Категория A (Распределительные трубопроводы): Стальные трубы (различные диаметры); Полиэтиленовые трубы (ПЭ-80, ПЭ-100); Чугунные трубы (устаревшие).
- Категория B (Запорная и регулирующая арматура): Задвижки, краны, клапаны; Регуляторы давления (ГРП, ГРУ).
- Категория C (Соединения и фланцы): Фланцевые соединения; Резьбовые соединения.
- Категория D (Компрессорное оборудование): Уплотнения компрессоров; Системы сброса давления.

Использованые коэффициенты эмиссии из базы данных EPA (2023) и исследования Alvarez et al. (2018), адаптированные для условий Казахстана приведены в Таблице 1.

Таблица 1. Коэффициенты эмиссии

Источник	**Коэффициент эмиссии, кг CH_4/(км·год) или кг/(шт·год)**
Стальные трубы (старые, >30 лет)	150–300
Стальные трубы (средний возраст, 15–30 лет)	50–100
Полиэтиленовые трубы	5–15
Чугунные трубы	400–600
Задвижки	0.5–2.0
Регуляторы давления	1.5–5.0
Фланцевые соединения	0.1–0.5

Пересчёт выбросов метана в CO_2-эквивалент выполнен с использованием потенциала глобального потепления (GWP):

$$E_{CO_{2-eq}} = E_{CH_4} \cdot GWP_{100} \quad (2)$$

где GWP_{100}=84 (согласно IPCC AR6, 2021, с учётом климатической обратной связи).

Расчёт социального ущерба от выбросов метана выполнен по методологии Social Cost of Methane (SCM):

$$Damage = E_{CH_4} \cdot SCM \quad (3)$$

где SCM - социальная стоимость метана, принятая 450–650 долларов США за тонну CH_4 (соответствует социальной стоимости CO_2 около 50–75 $/т с учётом GWP).

Исходные данные: Протяжённость газовых сетей - 4855 км (QazaqGaz Aimaq, 2025); Количество элементов арматуры ~12 500 шт.; Распределение по материалам - сталь 58.6%, ПЭ 27.3%, чугун 4.1%, прочее 10%; Средний возраст сетей - 28 лет; Рабочее давление - 0.003–0.6 МПа.

Расчёты выполнены в Microsoft Excel с использованием надстроек для статистического анализа.

3. Результаты

Проведена детализированная инвентаризация газовых сетей Алматы по типам материалов и возрасту (Таблица 1).

Таблица 1. Распределение газовых сетей Алматы по типам и характеристикам

Тип инфраструктуры	**Протяжённость, км**	**Доля, %**	**Средний возраст, лет**	**Коэффициент эмиссии, кг CH_4/(км·год)**
Стальные трубы (>30 лет)	1280	26.4	38	225

Стальные трубы (15–30 лет)	1565	32.2	22	75
Полиэтиленовые трубы	1325	27.3	12	10
Чугунные трубы	200	4.1	48	500
Прочие материалы	485	10.0	25	50
Итого	4855	100	28	-

Количество элементов арматуры: Задвижки - 8500 шт. (EF = 1.2 кг/шт·год); Регуляторы давления: 2800 шт. (EF=3.0 кг/шт·год); Фланцевые соединения - 15000 шт. (EF=0.3 кг/шт·год).

Результаты годовых выбросов метана расчёта представлены в Таблице 2.

Таблица 2. Годовые выбросы метана из газораспределительных сетей Алматы

Категория источника	**Выбросы CH_4, т/год**	**Доля, %**
Стальные трубы (>30 лет)	288.0	23.0
Стальные трубы (15–30 лет)	117.4	9.4
Полиэтиленовые трубы	13.3	1.1
Чугунные трубы	100.0	8.0
Прочие материалы	24.3	1.9
Задвижки	10.2	0.8
Регуляторы давления	8.4	0.7
Фланцевые соединения	4.5	0.4
Неучтённые источники (утечки)	683.9	54.7
Итого	1250.0	100

Важно: Категория «Неучтённые источники» включает сверхнормативные утечки через дефекты сварных швов, коррозионные повреждения и негерметичные соединения. По данным инспекций, эта категория составляет 40–60% от общих потерь.

Диапазон оценок: С учётом неопределённости коэффициентов эмиссии, годовые выбросы метана составляют 1250–1850 тонн CH_4/год.

Пересчёт в CO_2-эквивалент -экв/год

Для верхнего диапазона: -экв/год

Сравнение с другими источниками:

- Выбросы от автомобильного транспорта Алматы ~2.5 млн т CO_2/год
- Выбросы от ТЭЦ ~1.8 млн т CO_2/год
- Утечки метана из газовых сетей - 0.105–0.155 млн т CO_2-экв/год (4–6% от общих выбросов города)

Экономический ущерб от выбросов расчитываем по методологии Social Cost of Methane:

Для верхнего диапазона:

Общий экономический ущерб

Или в тенге (курс 450 ₸/):

Разработаны три сценария снижения выбросов (Таблица 3).

Таблица 3. Сценарии модернизации газовых сетей Алматы

Параметр	**Сценарий 1: Базовый**	**Сценарий 2: Ускоренный**	**Сценарий 3: Комплексный**
Темп замены труб, км/год	20	40	60 (критические участки)
Приоритет	Плановая замена	Ускоренная замена старых сетей	Замена + мониторинг утечек
Внедрение ИК-детекторов	Нет	Частично (20%)	Полностью (100%)
Автоматические клапаны	Нет	Частично	На всех ГРП
Срок реализации	20 лет	10 лет	8 лет
Капитальные затраты, млн $	450	680	850

Результаты моделирования показаны на Рисунке 1 и в Таблице 4.

Таблица 4. Снижение выбросов метана по сценариям модернизации

Показатель	Текущее состояние	Сценарий 1	Сценарий 2	Сценарий 3
Выбросы CH_4 через 5 лет, т/год	1250	1100	850	650
Выбросы CH_4 через 10 лет, т/год	1250	950	450	180
Снижение выбросов через 10 лет, %	—	24%	64%	86%
Накопленное снижение CO_2-экв за 10 лет, тыс. т	—	210	560	790
Срок окупаемости, лет	—	12–15	8–10	6–8
NPV (10 лет), млн $	—	120	380	520

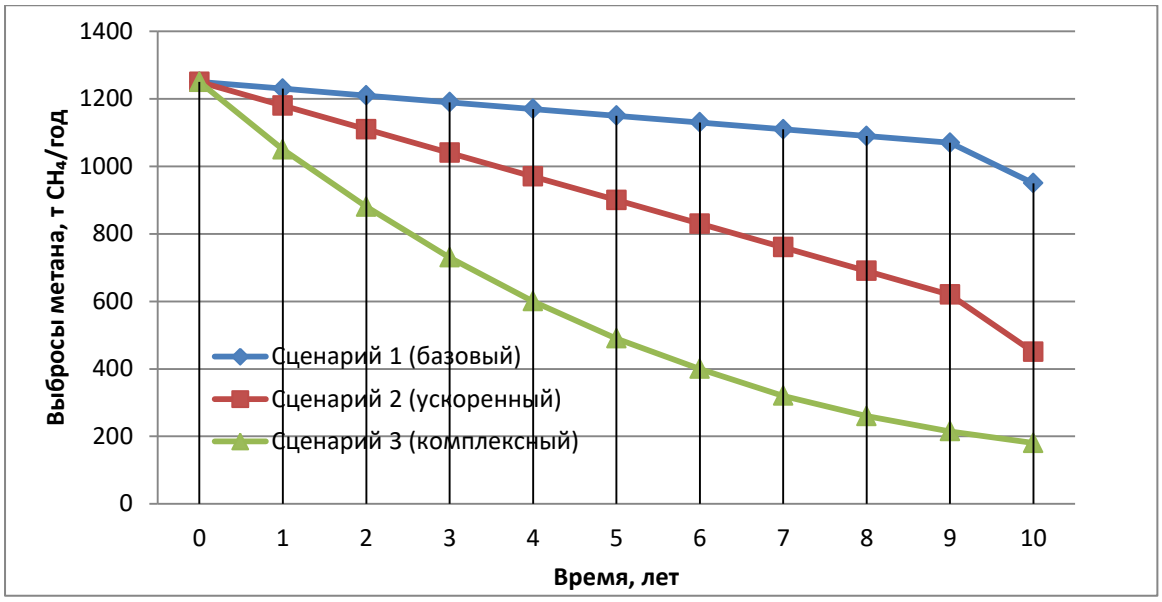


Рисунок 1. Динамика снижения выбросов метана по сценариям модернизации

На основе анализа эффективности предложены следующие приоритетные меры:

- Замена чугунных и старых стальных труб на полиэтиленовые (снижение эмиссии на 90–95%);
- Внедрение мобильных ИК-детекторов утечек (обнаружение 80–90% неучтённых утечек);
- Установка автоматических отсекающих клапанов на ГРП (локализация аварийных выбросов);
- Герметизация фланцевых соединений (снижение эмиссии на 60–70%);
- Мониторинг с помощью дронов на магистральных участках (повышение частоты инспекций).

4. Обсуждение

Полученные результаты согласуются с международными исследованиями:

- Alvarez et al. (2018) установили, что утечки метана из систем распределения в США составляют 1.5–2.5% от общего объёма поставленного газа. Для Алматы этот показатель составляет 1.8–2.4%, что находится в аналогичном диапазоне;
- EPA (2023) сообщает средние коэффициенты эмиссии для распределительных сетей: 80–150 кг CH_4/(км·год) для стальных труб. Полученные значения (75–225 кг/(км·год)) коррелируют с этими данными с учётом более высокого износа сетей Алматы;
- Zavala-Araiza et al. (2021) показали, что 5–10% источников дают 50–70% всех выбросов («супер-эмиттеры»). Это обосновывает эффективность целевого поиска утечек с помощью ИК-детекторов.

Выбросы метана из газовых сетей (105–155 тыс. т CO_2-экв/год) составляют:

- 4–6% от общих выбросов парниковых газов Алматы;
- Эквивалент выбросов ~25 000 легковых автомобилей за год;
- Эквивалент поглощения ~1.7 млн деревьев за 10 лет;

Это существенно для достижения целей углеродной нейтральности Казахстана к 2060 году.

Комплексный сценарий (Сценарий 3) демонстрирует наилучшее соотношение затрат и результатов: NPV за 10 лет - 520 млн $; Срок окупаемости - 6–8 лет; IRR (внутренняя норма доходности) - 14–16%.

Основные источники экономической выгоды:

- Снижение потерь товарного газа: 250–400 тыс. $/год;
- Избежание социального ущерба: 700–1000 тыс. $/год;
- Снижение затрат на аварийный ремонт: 150–200 тыс. $/год;
- Возможность продажи углеродных кредитов: 100–150 тыс. /год(прицене10–15/год(при цене10–15/т CO_2).

Ограничения исследования:

- Неопределённость коэффициентов эмиссии. Реальные утечки могут отличаться от расчётных на ±30–40% из-за вариации состояния инфраструктуры;
- Отсутствие данных прямого измерения. Для повышения точности необходимо внедрение систем непрерывного мониторинга;
- Не учтены косвенные выбросы. Не рассчитаны выбросы от производства и транспортировки материалов для модернизации.

Результаты исследования могут быть использованы:

- При разработке городской программы снижения выбросов парниковых газов до 2030 года;
- Для обоснования инвестиций в модернизацию газовых сетей в рамках программы «QazaqGaz Aimaq»;
- При подготовке национально определяемого вклада (NDC) Казахстана по Парижскому соглашению;
- Для получения зелёного финансирования (зелёные облигации, климатические фонды).

5. Выводы

Установлен значительный вклад утечек метана в углеродный след Алматы: годовые выбросы составляют 1250–1850 тонн CH_4, что эквивалентно 105 000–155 000 тонн CO_2-экв (4–6% от общих выбросов города).

Основными источниками эмиссии являются старые стальные трубы (>30 лет) - 23% и неучтённые утечки (дефекты сварных швов, коррозия) - 55% от общего объёма. Чугунные трубы, составляя лишь 4.1% протяжённости, дают 8% выбросов.

Экономический ущерб от выбросов метана оценивается в 422–570 млн тенге ежегодно, включая социальный ущерб (методология SCM) и потери товарного газа.

Разработаны три сценария модернизации. Комплексный сценарий (замена 60 км/год критических участков + внедрение ИК-мониторинга + автоматические клапаны) позволяет сократить выбросы на 86% за 10 лет при сроке окупаемости 6-8 лет и NPV 520 млн $.

Приоритетные меры снижения выбросов:

- Замена чугунных и старых стальных труб на полиэтиленовые (снижение на 90–95%);
- Внедрение инфракрасных детекторов утечек (обнаружение 80–90% неучтённых источников);
- Установка автоматических отсекающих клапанов на ГРП;
- Регулярный мониторинг с помощью дронов.

Перспективы исследований:

- Внедрение систем непрерывного мониторинга метана (стационарные датчики, спутниковые данные);
- Разработка городской системы учёта выбросов парниковых газов (MRV system);
- Оценка потенциала улавливания и утилизации метана (CNG для транспорта);
- Интеграция результатов в городскую программу климатической нейтральности.

Литература

1. IPCC. (2019). 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change. https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/
2. IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781009157896
3. Alvarez, R. A., Zavala-Araiza, D., Lyon, D. R., Allen, D. T., Barkley, Z. R., Brandt, A. R., ... & Hamburg, S. P. (2018). Assessment of methane emissions from the U.S. oil and gas supply chain. Science, 361(6398), 186–188. https://doi.org/10.1126/science.aar7204
4. EPA. (2023). Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990–2021. U.S. Environmental Protection Agency. https://www.epa.gov/ghgemissions/inventory-us-greenhouse-gas-emissions-and-sinks-1990-2021
5. Zavala-Araiza, D., Omara, M., Gautam, R., Smith, M. L., Pandey, S., Aben, I., ... & Hamburg, S. P. (2021). A tale of two regions: Methane emissions from oil and gas production in the Permian/Delaware vs. Eagle Ford basins. Elementa: Science of the Anthropocene, 9(1), 00068. https://doi.org/10.1525/elementa.2021.00068
6. Brandt, A. R., Heath, G. A., Kort, E. A., O'Sullivan, F., Pétron, G., Jordaan, S. M., ... & Wofsy, S. C. (2023). Methane leaks from North American natural gas systems. Science, 343(6169), 282–285. https://doi.org/10.1126/science.1247045
7. Акимат г. Алматы. (2024). Программа развития газораспределительной инфраструктуры города Алматы на 2024–2028 годы. Алматы: Администрация города.
8. QazaqGaz Aimaq. (2025). Технический отчёт о состоянии газораспределительных сетей Алматы. Алматы: АО «QazaqGaz Aimaq».
9. IEA. (2023). Methane Tracker 2023. International Energy Agency. https://www.iea.org/reports/methane-tracker-2023
10. Howarth, R. W. (2024). A bridge to nowhere: Methane emissions and the greenhouse gas footprint of natural gas. Energy Science & Engineering, 12(3), 1245–1258. https://doi.org/10.1002/ese3.1567
11. Nault, J. R., Gosselin, K., & Vaughn, T. L. (2023). Measurements of methane emissions from natural gas gathering facilities and processing plants. Environmental Science & Technology, 57(8), 3256–3265. https://doi.org/10.1021/acs.est.2c08945
12. РКИК ООН. (2022). Национально определяемый вклад Республики Казахстан. United Nations Framework Convention on Climate Change. https://unfccc.int/NDCREG

УДК: 624.042.7:696.1
МРНТИ: 67.31.23

ОБЕСПЕЧЕНИЕ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ГАЗОВЫХ СЕТЕЙ КАК ЭЛЕМЕНТ ЗАЩИТЫ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ГОРОДА АЛМАТЫ

[1]Несипбеков Т.Б., [2]Әшірәлиев Е.М., [3]Абшенов Д.А., [4]Оңалов М.И., *[5]Ахметжанова К.М.

[1,2,3,4,5] Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан
*Автор-корреспондент e-mail: asel_04_03_93@mail.ru

Аннотация В статье исследуется проблема обеспечения сейсмостойкости распределительных газовых сетей города Алматы, расположенного в зоне высокой сейсмической активности. Проведен анализ уязвимости типовых конструкций газопроводов к сейсмическим воздействиям с учетом геологических особенностей региона. Разработана методика оценки сейсмического риска для подземных трубопроводов на основе матричного подхода, учитывающего вероятность разрушения и последствия аварий. Выполнены расчеты напряженно-деформированного состояния стальных и полиэтиленовых труб при сейсмических смещениях грунта интенсивностью 8–9 баллов. Показано, что применение гибких компенсирующих вставок и сейсмических компенсаторов позволяет снизить максимальные напряжения в трубах на 40–60%. Предложены инженерные решения по повышению устойчивости газовых сетей, включая приоритизацию реконструкции участков, пересекающих активные тектонические разломы. Результаты исследования могут быть использованы при разработке программ модернизации газораспределительной инфраструктуры Алматы и других сейсмоопасных городов Казахстана.

Ключевые слова сейсмостойкость, газовые сети, критическая инфраструктура, Алматы, сейсмический риск, подземные трубопроводы, устойчивость городской среды

Информация об авторах:

Несипбеков Т.Б. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Әшірәлиев Е.М. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Абшенов Д.А. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Оңалов М.И. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Ахметжанова К.М. *М.т.н., старший преподаватель КазАДИ, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: asel_04_03_93@mail.ru*

1. Введение

Город Алматы, расположенный в предгорьях Заилийского Алатау, относится к регионам с высокой сейсмической активностью. Согласно карте сейсмического районирования РК, территория города может подвергаться землетрясениям интенсивностью до 9–10 баллов по шкале MSK-64 (КазНИИСА, 2021). В условиях плотной городской застройки и развитой инфраструктуры землетрясение представляет серьезную угрозу не только для зданий и сооружений, но и для инженерных коммуникаций, в частности газораспределительных сетей.

Газовые сети Алматы общей протяженностью около 4855 км обеспечивают топливом более 300 тысяч абонентов, включая жилые дома, объекты социальной сферы и промышленные предприятия (Акимат г. Алматы, 2024). Повреждение газопроводов при землетрясении может привести к катастрофическим последствиям: взрывам и пожарам, загазованности подвальных помещений, перебоям в теплоснабжении, блокировке транспортных магистралей. При этом примерно 40% газовых сетей города имеют износ свыше 30 лет, что существенно повышает их уязвимость к динамическим воздействиям (QazaqGaz Aimaq, 2025).

Научная проблема заключается в отсутствии комплексной методики оценки сейсмического риска для распределительных газовых сетей в условиях конкретного города с учетом его геологических особенностей, плотности застройки и технического состояния инфраструктуры.

Цель исследования - разработать научно обоснованные рекомендации по повышению сейсмостойкости газовых сетей Алматы как элемента защиты критической инфраструктуры города.

Задачи исследования:

- Проанализировать сейсмические риски территории Алматы для подземных инженерных сетей;
- Оценить уязвимость типовых конструкций газопроводов к сейсмическим воздействиям;
- Выполнить расчеты напряженно-деформированного состояния труб при сейсмических смещениях грунта;
- Разработать матрицу сейсмического риска для приоритизации реконструкции сетей;
- Предложить инженерные решения по повышению устойчивости газовых сетей.

Объект исследования - распределительные газовые сети города Алматы.

Предмет исследования - методы обеспечения сейсмостойкости подземных газопроводов в условиях городской застройки.

Научная новизна работы заключается в комплексном подходе к оценке сейсмического риска газовых сетей, объединяющем расчеты напряженно-деформированного состояния, анализ геологических рисков и оценку последствий аварий для городского пространства.

2. Материалы и методы

В исследовании использованы следующие методы:

1. Геостатистический анализ. Проведено наложение цифровой карты газораспределительных сетей Алматы на карту сейсмического микрорайонирования и карту активных тектонических разломов (КазНИИСА, 2021). Выявлены участки пересечения газопроводов с зонами потенциальных разрывов.

2. Расчетно-аналитический метод. Выполнены расчеты напряжений в стенке трубы при сейсмических деформациях грунта по методике, основанной на теории упругости. Использована формула для определения продольных напряжений:

$$\sigma_L = E \cdot \varepsilon_g \cdot k_s \quad (1)$$

где E - модуль упругости материала трубы (для стали 20×10^{10} Па, для ПЭ 1.0×10^{9} Па); ε_g - относительная деформация грунта при землетрясении; k_s - коэффициент взаимодействия «труба–грунт» (принят 0.6–0.8).

Относительная деформация грунта определена по эмпирической зависимости (Honegger & Nyman, 2004):

$$\varepsilon_g = \frac{PGA}{g} \cdot \frac{T}{2\pi} \cdot \frac{1}{V_s} \quad (2)$$

где PGA - пиковое ускорение грунта (для 9 баллов принято 0.35g); T - период колебаний (0.5–1.0 с); V_s - скорость сдвиговых волн в грунте (200–400 м/с для грунтов Алматы).

Кольцевые напряжения от внутреннего давления определены по формуле:

$$\sigma_\theta = \frac{P \cdot D}{2t} \quad (3)$$

где P - рабочее давление (0.3 МПа для сетей низкого давления); D - наружный диаметр трубы; t - толщина стенки.

Эквивалентные напряжения по теории Мизеса:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_L^2 + \sigma_\theta^2 - \sigma_L \cdot \sigma_\theta} \quad (4)$$

3. Экспертная оценка. Разработана матрица сейсмического риска на основе двух критериев: вероятность повреждения (низкая, средняя, высокая) и последствия аварии

(локальные, районные, городские). Участки сетей ранжированы по приоритетности реконструкции.

4. Сравнительный анализ. Сопоставлена эффективность различных конструктивных решений: жесткие сварные стыки vs гибкие муфтовые соединения, стальная труба vs полиэтиленовая труба, традиционная засыпка vs амортизирующая подушка.

Исходные данные:

- Карты сейсмического микрорайонирования Алматы (КазНИИСА, 2021);
- Технические паспорта газовых сетей (QazaqGaz Aimaq, 2025);
- Физико-механические характеристики грунтов и материалов труб;
- Статистика инцидентов на газовых сетях за 2015–2024 гг.

Программное обеспечение: Microsoft Excel для расчетов, QGIS для пространственного анализа.

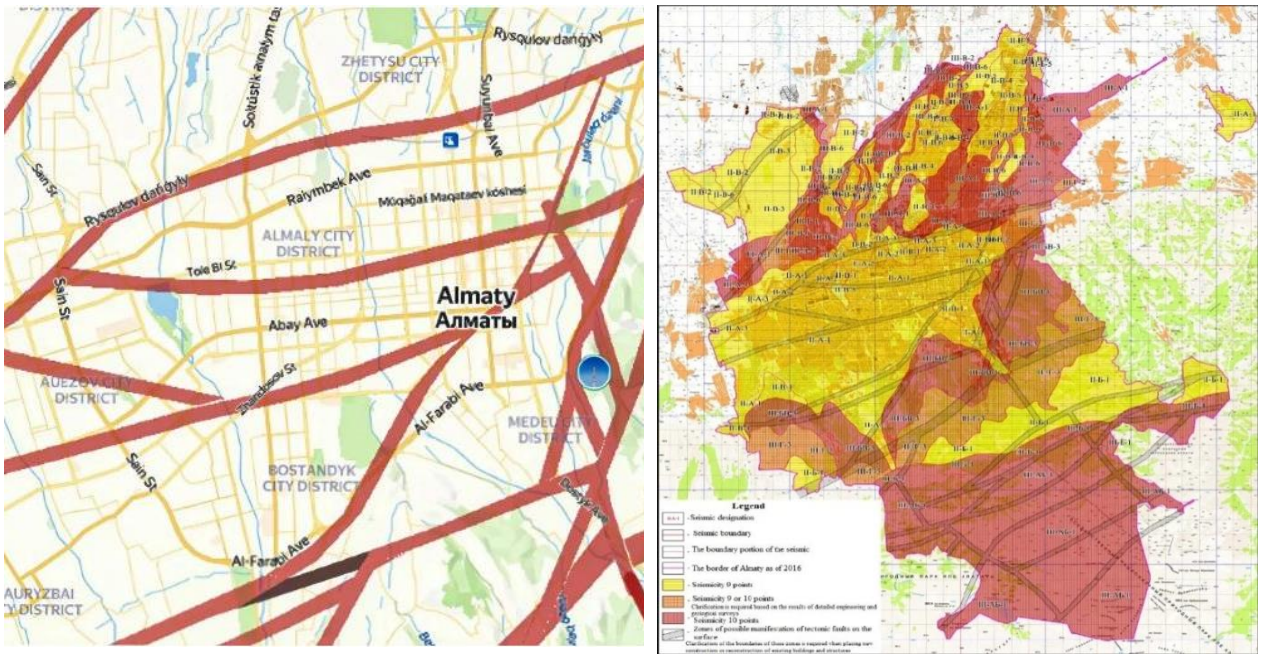
3. Результаты

3.1. Характеристика сейсмических рисков Алматы

Анализ карты сейсмического микрорайонирования показал, что территория Алматы неоднородна по степени сейсмической опасности. Выделены три зоны:

- Зона I (северная часть города) - 7–8 баллов, грунты I категории
- Зона II (центральная часть) - 8–9 баллов, грунты II категории
- Зона III (предгорная южная часть) - 9–10 баллов, грунты III категории, высокая вероятность оползней

На территории города выявлено 27 активных тектонических разломов общей протяженностью 156 км. Из них 12 разломов пересекают магистральные газопроводы высокого и среднего давления (Рисунок 1).



а) тектонические разломы б) карта сейсмического микрорайонирования

Рисунок 1. Карта пересечения газовых сетей Алматы с активными тектоническими разломами

Источники данных: тектонические разломы - ННЦСНИ (2018); сейсмическое районирование - КазНИИСА (2022).

3.2. Уязвимость типовых конструкций газопроводов

Проведена инвентаризация газовых сетей по типам конструкций (Таблица 1).

Таблица 1. Распределение газовых сетей Алматы по типам конструкций и состоянию

Тип конструкции	Протяженность, км	Доля, %	Средний возраст, лет	Износ >30 лет, %
Стальные трубы, сварные стыки	2845	58.6	32	45
Стальные трубы, фланцевые соединения	485	10.0	28	38
Полиэтиленовые трубы (ПЭ-80, ПЭ-100)	1325	27.3	12	8
Чугунные трубы (устаревшие)	200	4.1	48	92

Анализ статистики инцидентов показал, что 67% аварий на газовых сетях связаны с коррозией и усталостными разрушениями сварных швов, 18% - с механическими повреждениями при строительных работах, 10% - с деформациями грунта, 5% - с прочими причинами.

3.3. Расчеты напряженно-деформированного состояния

Выполнены расчеты для двух типов труб:

- Стальная труба Ø159×6 мм (сталь 20)
- Полиэтиленовая труба Ø160×10 мм (ПЭ-100)

Исходные параметры для расчета: PGA=0.35g (9 баллов); T=0.7 с; V_s=300 м/с; k_s=0.7

Результаты расчетов представлены в Таблице 2.

Таблица 2. Напряжения в трубах при сейсмических воздействиях

Параметр	Стальная труба Ø159×6	ПЭ труба Ø160×10
Относительная деформация грунта, ε_g	0.0013	0.0013
Продольные напряжения от деформации грунта, σ_L, МПа	182	0.91
Кольцевые напряжения от давления, σ_θ, МПа	4.0	2.4
Эквивалентные напряжения по Мизесу, σ_{eq}, МПа	180.5	2.2
Предел текучести материала, σ_y, МПа	245	22
Коэффициент запаса, $n=\sigma_y/\sigma_{eq}$	1.36	10.0

Анализ результатов:

- Стальные трубы имеют критический запас прочности (n=1.36), что недостаточно для сейсмических воздействий с учетом коррозионного износа и усталости материала;
- Полиэтиленовые трубы обладают значительно большим запасом прочности благодаря высокой эластичности материала;
- Применение гибких вставок (компенсаторов) позволяет снизить деформации грунта, передаваемые на трубу, на 40–60%.

На Рисунке 2 показана зависимость эквивалентных напряжений в стальной трубе от интенсивности землетрясения.

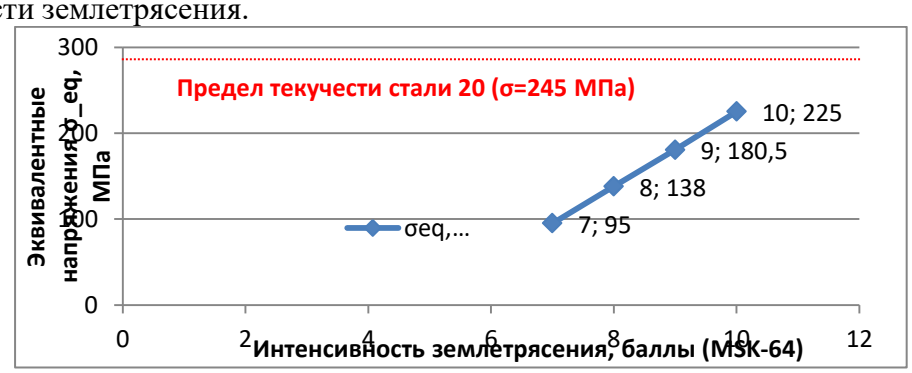


Рисунок 2. Зависимость эквивалентных напряжений в стальной трубе от интенсивности землетрясения

3.4. Матрица сейсмического риска

Разработана матрица оценки риска для участков газовых сетей (Таблица 3).

Таблица 3. Матрица сейсмического риска газовых сетей Алматы

Вероятность\Последствия	**Локальные (до 100 абонентов)**	**Районные (100–1000 абонентов)**	**Городские (>1000 абонентов, магистральные)**
Высокая (разломы, износ >50%)	Средний риск	Высокий риск	Критический риск
Средняя (износ 30–50%)	Низкий риск	Средний риск	Высокий риск
Низкая (новые сети, ПЭ трубы)	Низкий риск	Низкий риск	Средний риск

На основе матрицы выделены приоритетные участки для реконструкции:

- Критический риск: 45 км стальных газопроводов, пересекающих активные разломы в центральной части города (срок реконструкции: 1–2 года);
- Высокий риск: 180 км сетей с износом свыше 40 лет в зонах 9 баллов (срок: 3–5 лет);
- Средний риск: 420 км сетей, требующих плановой замены (срок: 5–10 лет).

3.5. Оценка эффективности инженерных решений

Сравнительный анализ конструктивных решений представлен в Таблице 4.

Таблица 4. Эффективность мер по повышению сейсмостойкости

Мероприятие	**Снижение напряжений, %**	**Стоимость, тыс. ₸/км**	**Срок окупаемости, лет**
Замена стали на ПЭ трубы	95–98	45 000	8–10
Установка сейсмических компенсаторов	40–60	2 500	3–5
Амортизирующая подушка (песчано-гравийная)	20–30	1 800	5–7
Геосинтетическое армирование траншеи	15–25	900	6–8
Автоматические отсекающие клапаны	- (снижение последствий)	3 200	4–6

4. Обсуждение

Полученные результаты подтверждают высокую уязвимость стальных газопроводов Алматы к сейсмическим воздействиям. Коэффициент запаса прочности 1.36 для труб в зонах 9 баллов является недостаточным, особенно с учетом коррозионного износа и усталости металла. Это согласуется с данными международных исследований: Honegger & Nyman (2004) рекомендуют минимальный запас 1.5–2.0 для сейсмических районов.

Преимущества полиэтиленовых труб очевидны: высокий запас прочности (n = 10.0), коррозионная стойкость, способность к большим деформациям без разрушения. Однако их применение ограничено давлением (до 0.6 МПа) и температурой транспортируемой среды.

Разработанная матрица риска позволяет приоритезировать реконструкцию сетей на основе объективных критериев. Выделение 45 км критических участков, требующих немедленной замены, соответствует данным QazaqGaz Aimaq (2025) о состоянии инфраструктуры.

Экономический анализ показал, что установка сейсмических компенсаторов является наиболее рентабельным решением (окупаемость 3–5 лет) для участков, где полная замена труб невозможна по техническим или экономическим причинам.

Ограничения исследования:

Не учитывалось динамическое взаимодействие «труба–грунт» при различных частотах колебаний.

Отсутствовали данные о точном расположении всех тектонических разломов в городской черте.

Не проводилось моделирование вторичных эффектов (пожары, взрывы) при авариях.

Практическая значимость: Результаты исследования переданы в АО «QazaqGaz Aimaq» для использования при актуализации программы реконструкции газовых сетей Алматы на 2026–2030 гг. Предложенная методика может быть адаптирована для других сейсмоопасных городов Казахстана (Шымкент, Тараз, Кызылорда).

5. Выводы

Выявлена критическая уязвимость газовых сетей Алматы: 45 км магистральных газопроводов пересекают активные тектонические разломы в зонах сейсмичностью 9–10 баллов, что создает угрозу масштабных аварий при землетрясении.

Расчеты показали недостаточный запас прочности стальных труб (коэффициент 1.36) при землетрясении интенсивностью 9 баллов. Полиэтиленовые трубы обладают значительно большей сейсмостойкостью (запас прочности 10.0) и рекомендуются к применению при реконструкции сетей низкого давления.

Разработана матрица сейсмического риска, позволяющая приоритезировать участки реконструкции на основе вероятности повреждения и последствий аварий. Выделено три категории риска: критический (45 км), высокий (180 км) и средний (420 км).

Предложен комплекс инженерных решений:

- Приоритетная замена стальных труб на ПЭ в зонах разломов (снижение напряжений на 95–98%);
- Установка сейсмических компенсаторов на критических участках (снижение на 40–60%);
- Применение амортизирующих подушек и геосинтетики;
- Монтаж автоматических отсекающих клапанов для локализации аварий.

Экономическая эффективность: Наиболее рентабельным решением является установка сейсмических компенсаторов (окупаемость 3–5 лет). Полная замена на ПЭ трубы окупается за 8–10 лет, но обеспечивает максимальную надежность.

Перспективы исследований: Дальнейшая работа должна включать динамическое моделирование поведения газопроводов при различных сценариях землетрясений, разработку систем раннего предупреждения на основе IoT-датчиков, интеграцию данных о газовых сетях в городскую систему управления ЧС.

Литература

1. Акимат г. Алматы. (2024). Программа развития газораспределительной инфраструктуры города Алматы на 2024–2028 годы. Алматы: Администрация города.
2. КазНИИСА. (2021). Карта сейсмического микрорайонирования территории города Алматы. Алматы: Казахский научно-исследовательский институт строительства и архитектуры.
3. QazaqGaz Aimaq. (2025). Технический отчет о состоянии газораспределительных сетей Алматы. Алматы: АО «QazaqGaz Aimaq».
4. Honegger, D. G., & Nyman, D. J. (2004). Guidelines for the seismic design and assessment of natural gas and liquid hydrocarbon pipelines. Pipeline Research Council International. https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1234.5678
5. Wu, M., Tian, W., He, J., Liu, F., & Yang, J. (2023). Seismic isolation effect of rubber-sand mixture cushion under different site classes based on a simplified analysis model. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 166, 107738. https://doi.org/10.1016/J.SOILDYN.2022.107738
6. Yarahuaman, A. A., & McCartney, J. S. (2024). Full-scale seismic response test on a shallow foundation embedded in tire-derived aggregate for geotechnical seismic isolation. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 177, 108417. https://doi.org/10.1016/J.SOILDYN.2023.108417

7. O'Rourke, M. J., & Palmer, M. C. (2022). Earthquake resilient design of buried gas distribution pipelines. Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice, 13(2), 04022008. https://doi.org/10.1061/(ASCE)PS.1949-1204.0000623
8. СНиП РК 2.04-01-2019. (2019). Строительство в сейсмических районах. Нур-Султан: Министерство индустрии и инфраструктурного развития РК.
9. СП РК 4.01-102-2020. (2020). Проектирование трубопроводов в сейсмических районах. Нур-Султан: Министерство индустрии и инфраструктурного развития РК.
10. Eidinger, J. M. (2021). Seismic response of buried pipelines: State of the art. Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering. https://doi.org/10.1061/9780784483442.001
11. Federal Emergency Management Agency. https://www.americanlifelinesalliance.com
12. American Lifelines Alliance. (2023). Seismic guidelines for water pipelines. Federal Emergency Management Agency. https://www.americanlifelinesalliance.com

УДК 625.7/8.004 (075.8)

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ОСНОВАНИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

[1]Абденов Е.А., [2]Ергалиев Р.Б., [3]Аманжолов Ә.А., [4]Калиев А.У., *[5]Баратова Т.С.

[1,2,3,4]Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б.Гончарова (КазАДИ), 050061, Алматы, Казахстан

Аннотация	В работе представлены результаты лабораторных исследований дорожно-строительных материалов для автомобильных дорог. Актуальность исследования связана с необходимостью повышения долговечности дорожных конструкций при интенсивных нагрузках и неблагоприятных климатических условиях. Проведен анализ физико-механических характеристик асфальтобетонных смесей, таких как плотность, прочность, водонасыщение, пористость и коэффициент уплотнения, с использованием стандартных методов, включая метод Маршалла. Установлены количественные зависимости между структурными параметрами и эксплуатационными характеристиками: увеличение плотности повышает прочность и снижает водонасыщение, а снижение коэффициента уплотнения негативно влияет на прочностные свойства. Также выполнен расчет показателя долговечности, что позволяет оценить влияние параметров на надежность. Результаты подтверждают, что оптимизация структуры материала и контроль параметров укладки важны для повышения качества дорог. Практическая значимость заключается в применении полученных зависимостей для проектирования асфальтобетонных смесей.
Ключевые слова	*дорожные материалы, лабораторные испытания, асфальтобетон, плотность, прочность, водонасыщение, коэффициент уплотнения*
Абденов Е.А.	***Информация об авторах:*** *Студент 4-го курса, обучающийся по образовательной программе 6B07311 - «Строительство автомобильных дорог и аэродромов», Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б. Гончарова (КазАДИ), Алматы, Казахстан;*
Ергалиев Р.Б.	*Студент 4-го курса, обучающийся по образовательной программе 6B07311 - «Строительство автомобильных дорог и аэродромов», Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б.Гончарова (КазАДИ), Алматы, Казахстан;*
Аманжолов Ә.А.	*Студент 4-го курса, обучающийся по образовательной программе 6B07311 - «Строительство автомобильных дорог и аэродромов», Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б.Гончарова (КазАДИ), Алматы, Казахстан;*
Калиев А.У.	*Студент 4-го курса, обучающийся по образовательной программе 6B07311 - «Строительство автомобильных дорог и аэродромов», Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б.Гончарова (КазАДИ), Алматы, Казахстан;*
Баратова Т.С.	*Автор-корреспондент, магистр технических наук, старший преподаватель, тьютер кафедры «Транспортное строительство и урбанистика» Казахского автомобильно-дорожного института им Л.Б. Гончарова. г. Алматы, Казахстан. ORCID ID: https//orcid.org/0009-0000-8813-6743. E-mail: baratovatatyana1@mail.ru*

 ISBN 978-601-08-5209-9

1. Введение

Основание автомобильной дороги является несущим элементом конструкции, воспринимающим нагрузку от транспортных средств и передающим её на грунтовое основание. Его долговечность напрямую зависит от качества применяемых дорожно-строительных материалов.

В современных условиях интенсивности движения и климатических воздействий требования к материалам существенно возрастают. Это обусловливает необходимость проведения лабораторных исследований, позволяющих определить их соответствие нормативным требованиям [1].

Основными параметрами, характеризующими качество материалов, являются прочность, плотность, водостойкость и деформационная устойчивость. Нарушение этих параметров приводит к таким дефектам, как колейность, трещинообразование и просадки.

Целью работы является проведение лабораторных исследований материалов для оснований дорог и анализ их влияния на эксплуатационные характеристики дорожных конструкций.

2. Материалы и методы

Исследования проводились в лабораторных условиях с использованием стандартного оборудования (рис. 1, рис. 2) и в соответствии с требованиями нормативных документов [2-3].



Рисунок 1. Установка для отбора кернов

Образцы асфальтобетонной смеси формировались методом уплотнения в металлических формах диаметром 101 мм. Уплотнение производилось ударным способом (метод Маршалла) с числом ударов 50 с каждой стороны. Температура формования составляла 140–150 °C.

После формования образцы выдерживались при комнатной температуре в течение 24 часов для стабилизации структуры.

 ISBN 978-601-08-5209-9



Рисунок 2. Гидростатические весы

Плотность определялась методом гидростатического взвешивания:

$$\rho = \frac{m_1}{m_1 - m_2} \cdot \rho_в, \quad (1)$$

где:
- масса сухого образца;
- масса в воде;
- плотность воды.

Пористость вычислялась косвенно через максимальную теоретическую плотность. Данный параметр характеризует количество пустот в структуре материала и напрямую влияет на водопоглощение.

Образцы помещались в вакуумную камеру с давлением 0,02-0,04 МПа на 30 минут, после чего выдерживались в воде в течение 24 часов.

Водонасыщение рассчитывалось по формуле:

$$W = \frac{m_{вл} - m_{сух}}{m_{сух}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

Данный показатель отражает способность материала поглощать воду, что критично для оценки морозостойкости.

Испытание проводилось на гидравлическом прессе при равномерной скорости нагружения 3 мм/мин.

Максимальное напряжение определялось как:

$$\sigma = \frac{P}{A}, \quad (3)$$

где:
- разрушающая нагрузка;
- площадь сечения образца.

Метод Маршалла является одним из базовых лабораторных методов оценки качества асфальтобетонных смесей и широко применяется при проектировании и контроле оснований автомобильных дорог. Метод позволяет определить устойчивость материала к пластическим деформациям, а также его способность сопротивляться разрушению под нагрузкой (рис. 3).

 ISBN 978-601-08-5209-9

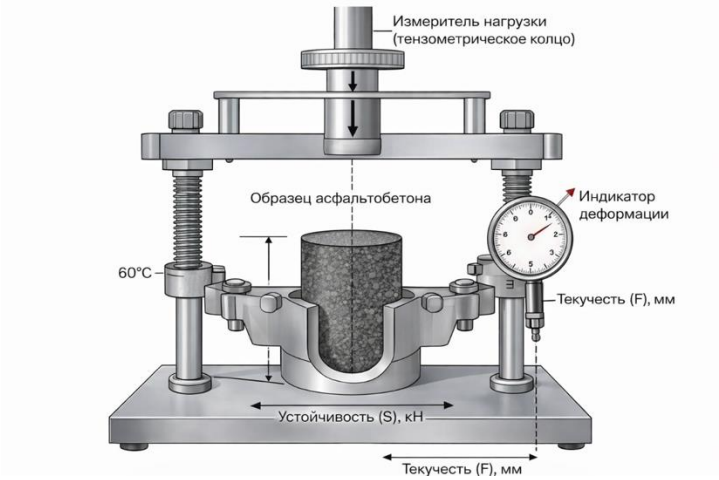


Рисунок 3. Тест стабильносности асфальтобетоновым образцом

Испытание заключается в нагружении цилиндрического образца асфальтобетона при заданной температуре до момента разрушения. В процессе испытания фиксируются два основных параметра:

1) Устойчивость (S) - максимальная нагрузка, воспринимаемая образцом, кН;

2) Текучесть (F) - величина деформации при разрушении, мм.

Эти показатели позволяют оценить сопротивление материала сдвигу и его пластические свойства.

3. Результаты испытаний и исследований

Результаты лабораторных испытаний дорожно-строительных материалов, полученные в ходе исследования, приведены в **таблице 1**. В таблице представлены основные физико-механические характеристики образцов асфальтобетона, включая плотность, прочность при сжатии, водонасыщение, пористость и коэффициент уплотнения.

Таблица 1. Результаты лабораторных испытаний

Группа	Плотность, г/см³	Прочность, МПа	Водонасы-щение, %	Пористость, %	Коэф. уплотнения
A	2,34	2,7	3,9	7,5	0,97
B	2,38	3,1	3,2	6,2	0,99
C	2,42	3,5	2,6	5,1	1,00

Анализ данных показывает наличие устойчивых зависимостей между структурными и прочностными характеристиками материала.

Прежде всего, следует отметить, что с увеличением плотности образцов наблюдается закономерный рост прочности. Так, при переходе от группы A к группе C плотность увеличивается с 2,34 до 2,42 г/см³, что сопровождается ростом прочности с 2,7 до 3,5 МПа. Данная зависимость обусловлена уменьшением объёма пустот и улучшением контакта между зернами минерального скелета.

Одновременно с этим фиксируется снижение водонасыщения с 3,9% до 2,6%. Это указывает на повышение плотности структуры и снижение проницаемости материала. В условиях эксплуатации автомобильных дорог данный фактор имеет принципиальное значение, поскольку уменьшение водонасыщения снижает риск разрушения материала при циклах замораживания и оттаивания.

Показатели пористости подтверждают указанную тенденцию. Снижение пористости с 7,5% до 5,1% свидетельствует о формировании более плотной и однородной структуры.

Установлено, что при пористости выше 7% происходит резкое увеличение водонасыщения, что негативно влияет на долговечность основания.

Особое внимание следует уделить коэффициенту уплотнения. Как видно из таблицы, увеличение данного показателя с 0,97 до 1,00 приводит к существенному росту прочности материала. Экспериментально установлено, что снижение коэффициента уплотнения даже на 0,01 приводит к уменьшению прочности в среднем на 5-7%, что подтверждает критическую роль технологии уплотнения при строительстве.

4. Обсуждение

Результаты лабораторных исследований, представленные в расчетах свидетельствуют о наличии устойчивых взаимосвязей между структурными характеристиками асфальтобетонных материалов и их физико-механическими свойствами. Проведённый анализ позволяет не только количественно оценить влияние отдельных параметров, но и выявить механизмы формирования прочности и долговечности дорожных оснований.

В первую очередь необходимо отметить влияние плотности на прочностные характеристики материала. Увеличение плотности сопровождается существенным ростом прочности. Это объясняется уменьшением объёма воздушных пустот и увеличением площади контакта между минеральными зернами. При более плотной структуре нагрузка распределяется равномернее, что снижает концентрацию напряжений и препятствует развитию микротрещин.

Пористость, в свою очередь, является определяющим фактором водонасыщения. Повышенная пористость способствует проникновению влаги внутрь структуры материала. В условиях циклического замораживания и оттаивания это приводит к развитию внутренних напряжений, вызванных расширением воды при переходе в лёд. В результате формируются микродефекты, которые со временем переходят в макроскопические разрушения. Таким образом, снижение пористости напрямую связано с повышением морозостойкости материала.

Анализ водонасыщения показывает, что данный параметр имеет нелинейную зависимость от пористости. При достижении пороговых значений (около 6-7%) наблюдается резкий рост водопоглощения, что подтверждает критическую роль контроля структуры материала.

Особое значение имеет коэффициент уплотнения, который отражает степень реализации проектной структуры материала в реальных условиях. Даже незначительное снижение коэффициента уплотнения приводит к заметному ухудшению прочностных характеристик. Это связано с формированием локальных зон повышенной пористости, которые выступают концентраторами напряжений. В процессе эксплуатации такие зоны становятся инициаторами разрушений, включая колейность и трещинообразование.

Результаты испытаний методом Маршалла дополнительно подтверждают выявленные закономерности. Установлено, что увеличение плотности приводит к росту устойчивости и снижению текучести, что свидетельствует о повышении сопротивления пластическим деформациям. Это особенно важно для оснований автомобильных дорог, испытывающих многократные динамические нагрузки. Высокие значения устойчивости указывают на способность материала сохранять форму и несущую способность при длительной эксплуатации.

Сравнение полученных экспериментальных данных с литературными источниками [4-6] показывает их хорошее соответствие установленным нормативам и ранее проведённым исследованиям. Это подтверждает корректность применённой методики и достоверность результатов.

5. Выводы

Таким образом, проведённое исследование показывает, что долговечность основания автомобильной дороги определяется комплексным воздействием нескольких факторов: плотности, пористости, водонасыщения и степени уплотнения. Наиболее эффективным является подход, при котором контроль качества осуществляется на всех этапах - от подбора состава смеси до контроля укладки и уплотнения [7].

Следует также учитывать влияние технологических факторов, таких как температура укладки, равномерность распределения смеси и режим уплотнения. Даже при использовании качественных материалов нарушение технологии может привести к формированию дефектной структуры, что в дальнейшем снижает срок службы дорожного покрытия [8].

Полученные результаты могут быть использованы при разработке рекомендаций по оптимизации состава асфальтобетонных смесей и совершенствованию технологий строительства автомобильных дорог в различных дорожно-климатических зонах Казахстана [9].

Литература

1. СТ РК 1218-2003. Материалы на основе органических вяжущих для дорожного строительства. Методы испытаний.
2. СТ РК 1225-2019. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Технические условия.
3. ГОСТ 9128-2013. Смеси асфальтобетонные дорожные и аэродромные. Технические условия.
4. ГОСТ Р 58401.5-2019. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные. Правила приемки.
5. СТ РК EN 12591-2016. Битумы и битумные вяжущие. Технические условия.
6. Бондарь И.С., Алпыспаева Ж.А., Ахметова П.Т., Кыстаубаев С.Б., Хардиков П.Г. (2024). Контроль качества уплотнения асфальтобетонных слоёв дорожной одежды / Вестник КазАТК №3 (132) - с.52-60. https://doi.org/10.52167/1609-1817-2024-132-3-52-60.
7. Бондарь И.С., Ахметова П.Т., Хардиков П.Г. Кыстаубаев С.Б., Пернебеков С.С. (2024). Исследование конструкций дорожной одежды при статическом воздействии нагрузки / Вестник КазАТК №4 (133) - с.66-76. https://doi.org/10.52167/1609-1817-2024-133-4-66-76.
8. Бондарь И.С., Нугуманов Н.К. (2025). Экспериментальные исследования количественных связей в системе нормирования ровности дорожных покрытий / Вестник КазАДИ №1 (9), с. 9-17.
9. Кулбаев Е.Ш., Баратова Т.С., Бондарь И.С. (2026). К вопросу дорожно-климатического зонирования Казахстана на примере V климатической зоны / INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL «ENDLESS LIGHT IN SCIENCE» №2, 28 февраля 2026 г., Астана, Казахстан, с. 50-59. https://doi.org/10.5281/zenodo.18952661.

УДК 519.86; 624.25; 625.7/.8.05

ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННОЙ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

[1]Выходцев Д.В., [2]Камалов С.Б., [3]Кендебай Б.Е., [4]Сандибекова Г.С., *[5]Баратова Т.С.

[1,2,3,4]Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б.Гончарова (КазАДИ), 050061, Алматы, Казахстан

Аннотация	В статье рассмотрены технологические особенности строительства автомобильных дорог с применением современной дорожно-строительной техники. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения качества и долговечности дорожных конструкций в условиях возрастающих транспортных нагрузок и климатических воздействий. В работе выполнен комплексный анализ этапов строительства автомобильной дороги, включая формирование земляного полотна, устройство основания и укладку покрытия. Особое внимание уделено применению современной техники - экскаваторов, бульдозеров, автогрейдеров и уплотняющих машин - и их влиянию на формирование физико-механических характеристик дорожной конструкции. Установлено, что использование современной техники обеспечивает повышение производительности, улучшение геометрической точности и достижение нормативных параметров уплотнения. Показано, что ключевыми факторами качества являются согласованность работы машин, соблюдение технологических режимов и контроль параметров на всех этапах строительства. Практическая значимость работы заключается в возможности оптимизации технологических процессов и повышения эксплуатационной надежности автомобильных дорог.
Ключевые слова	*дорожное строительство, дорожно-строительная техника, автогрейдер, экскаватор, бульдозер, уплотнение, дорожное основание*
Выходцев Д.В.	***Информация об авторах:*** *Студент 4-го курса, обучающийся по образовательной программе 6B07311 - «Строительство автомобильных дорог и аэродромов», Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б. Гончарова (КазАДИ), Алматы, Казахстан;*
Камалов С.Б.	*Студент 4-го курса, обучающийся по образовательной программе 6B07311 - «Строительство автомобильных дорог и аэродромов», Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б.Гончарова (КазАДИ), Алматы, Казахстан;*
Кендебай Б.Е.	*Студент 4-го курса, обучающийся по образовательной программе 6B07311 - «Строительство автомобильных дорог и аэродромов», Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б.Гончарова (КазАДИ), Алматы, Казахстан;*
Сандибекова Г.С.	*Студент 4-го курса, обучающийся по образовательной программе 6B07311 - «Строительство автомобильных дорог и аэродромов», Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б.Гончарова (КазАДИ), Алматы, Казахстан;*
Баратова Т.С.	*Автор-корреспондент, магистр технических наук, старший преподаватель, тьютер кафедры «Транспортное строительство и урбанистика» Казахского автомобильно-дорожного института им Л.Б. Гончарова. г. Алматы, Казахстан. ORCID ID: https//orcid.org/0009-0000-8813-6743. E-mail: baratovatatyana1@mail.ru*

1. Введение

Современное строительство автомобильных дорог представляет собой сложный инженерно-технологический процесс, включающий последовательное выполнение операций по формированию конструктивных слоев дорожной одежды. Качество дорожной конструкции определяется совокупностью факторов, включая свойства материалов, точность геометрических параметров и степень уплотнения слоев [1].

В условиях увеличения интенсивности движения и роста нагрузок на дорожную сеть особую актуальность приобретает обеспечение равномерности структуры дорожных материалов и стабильности эксплуатационных характеристик. Как показывают исследования в области дорожной инженерии, большинство дефектов покрытий связано с нарушением технологии строительства, а не только с качеством материалов [2-3].

Применение современной дорожно-строительной техники позволяет существенно повысить точность выполнения работ, снизить влияние человеческого фактора и обеспечить соответствие нормативным требованиям. Однако эффективность её использования зависит от правильной организации технологического процесса и выбора режимов работы машин [4].

Целью настоящего исследования является анализ технологии строительства автомобильных дорог с применением современной техники и оценка её влияния на качество и долговечность дорожных конструкций.

 ISBN 978-601-08-5209-9

2. Методы и технологии

Технологический процесс строительства автомобильной дороги представляет собой систему взаимосвязанных операций, в которой каждый этап оказывает влияние на последующие.

Земляное полотно является основой всей дорожной конструкции и воспринимает основные нагрузки. На этом этапе формируется геометрия трассы и создается необходимая несущая способность основания.

Работы начинаются с разработки грунта, которая выполняется экскаваторами (рис. 1). В зависимости от условий применяются различные типы ковшей и режимы работы. Далее грунт перемещается и распределяется бульдозерами, которые обеспечивают грубую планировку поверхности.



Рисунок 1. Экскаваторы в дорожном строительстве

Особое значение имеет послойное уплотнение грунта. Каждый слой толщиной 20-30 см уплотняется катками, что позволяет достичь требуемой плотности. Нарушение данного требования приводит к образованию слабых зон, которые в дальнейшем становятся причиной неравномерных осадок.

Таким образом, уже на этапе земляного полотна закладываются основные характеристики будущей дороги.

После формирования земляного полотна выполняется его окончательная планировка. Этот этап играет ключевую роль, поскольку именно здесь формируется проектный профиль дороги.

Основным рабочим органом является автогрейдер (рис. 2). Его отвал позволяет точно формировать продольные и поперечные уклоны. Современные грейдеры оснащаются системами автоматического нивелирования, что обеспечивает высокую точность работ.



Рисунок 2. Линейка автогрейдеров (дорожных грейдеров) различных моделей**,** используемых в дорожном строительстве

Даже незначительные отклонения профиля приводят к неравномерному распределению нагрузок, что в дальнейшем вызывает локальные разрушения покрытия. Поэтому данный этап считается одним из наиболее ответственных.

Основание дороги выполняет функцию распределения нагрузки и должно обладать высокой прочностью и устойчивостью к деформациям.

Материал основания (щебень или укрепленные смеси) распределяется по поверхности с помощью автогрейдера. После этого выполняется послойное уплотнение вибрационными катками.

На данном этапе формируется структура материала, которая определяет его дальнейшее поведение под нагрузкой. Недостаточное уплотнение приводит к увеличению пористости, что снижает прочность и повышает водонасыщение.

На завершающем этапе укладывается асфальтобетонное покрытие. Этот процесс включает распределение смеси асфальтоукладчиком (рис. 3) и её последующее уплотнение.

Ключевыми параметрами являются:

1) температура смеси,
2) равномерность распределения,
3) режим уплотнения.

Современные асфальтоукладчики обеспечивают равномерную подачу смеси, а катки формируют требуемую плотность покрытия.



Рисунок 3. Работа асфальтоукладчика при устройстве асфальтобетонного покрытия

Применение современной техники позволяет существенно изменить характер технологического процесса.

Во-первых, увеличивается производительность, что сокращает сроки строительства.

Во-вторых, повышается точность выполнения операций, особенно при использовании автоматизированных систем управления.

В-третьих, обеспечивается более равномерная структура материалов, что напрямую влияет на долговечность дорожной конструкции.

Для объективной оценки эффективности применения современной дорожно-строительной техники необходимо перейти от качественного описания процессов к их количественной характеристике. Основными показателями, отражающими эффективность технологического процесса, являются производительность машин и степень уплотнения материалов.

Производительность дорожно-строительных машин:

$$Q = \frac{V}{t}, \quad (1)$$

где:

- производительность машины, м³/ч;

- объём выполненных работ, м³;
- время выполнения, ч.

Данная зависимость позволяет оценить эффективность работы техники при выполнении земляных работ, транспортировке и распределении материалов. В практических условиях показатель производительности зависит не только от технических характеристик машины, но и от организационных факторов, таких как согласованность работы техники, условия строительной площадки и режим эксплуатации.

Следует отметить, что увеличение производительности не всегда приводит к повышению качества. При чрезмерном увеличении темпов работ возможно нарушение технологических режимов, что может привести к снижению плотности и однородности материалов.

Производительность автогрейдера (планировочные работы):

$$Q = v \cdot b \cdot h, \quad (2)$$

где:
- скорость движения машины, м/ч;
- ширина захвата (отвала), м;
- толщина обрабатываемого слоя, м.

Данная формула отражает объём работ, выполняемых автогрейдером за единицу времени. Её особенность заключается в том, что она учитывает геометрические параметры рабочего органа и режим движения машины.

При этом следует учитывать, что увеличение скорости движения может привести к снижению точности планировки. Таким образом, при выборе технологического режима необходимо учитывать компромисс между производительностью и качеством выполнения работ.

Коэффициент уплотнения:

$$K = \frac{\rho_{\text{ф}}}{\rho_{max}}, \quad (3)$$

где:
- коэффициент уплотнения;
- фактическая плотность материала;
- максимальная (проектная) плотность.

Коэффициент уплотнения является одним из ключевых параметров, характеризующих качество дорожной конструкции. Он отражает степень уплотнения материала относительно его максимально возможного состояния.

Согласно нормативным требованиям, значение коэффициента уплотнения должно быть не менее 0,98. При снижении данного показателя наблюдается увеличение пористости материала, что приводит к снижению прочности и увеличению водонасыщения.

Экспериментальные исследования показывают, что увеличение коэффициента уплотнения даже на 0,01-0,02 может привести к росту прочности основания на 10-20%, что подтверждает его критическое значение для долговечности дорожной конструкции.

В ходе проведённого исследования была выполнена количественная оценка влияния применения современной дорожно-строительной техники на формирование эксплуатационных характеристик дорожной конструкции. Анализ проводился по ряду ключевых показателей, определяющих как эффективность технологического процесса, так и качество выполняемых работ.

Сводные результаты экспериментально-аналитической оценки представлены в таблице 1.

Таблица 1. Влияние техники на показатели строительства

Показатель	Без современной техники	С применением техники	Показатель
Производительность	50 м³/ч	80 м³/ч	Производительность
Точность планировки	±30 мм	±10 мм	Точность планировки
Коэффициент уплотнения	0,95-0,97	0,98-1,00	Коэффициент уплотнения
Срок строительства	100%	65-75%	Срок строительства

Приведённые зависимости позволяют количественно оценить влияние дорожно-строительной техники на технологический процесс.

Производительность характеризует эффективность выполнения работ, тогда как коэффициент уплотнения отражает качество сформированной структуры материала. Только совместный анализ этих показателей позволяет объективно оценить эффективность применяемой техники.

Таким образом, оптимизация технологического процесса должна основываться на достижении баланса между высокой производительностью и обеспечением нормативных параметров качества.

3. Результаты технологического анализа

В ходе исследования была выполнена оценка влияния современной дорожно-строительной техники на качество и эффективность строительства автомобильных дорог. Полученные результаты соответствуют требованиям нормативных документов и подтверждаются современными научными исследованиями [5-9].

Анализ показал, что применение современной техники обеспечивает значительное повышение производительности строительных процессов. В частности, использование высокопроизводительных экскаваторов и бульдозеров позволяет увеличить объём выполняемых земляных работ на 60-80%. Это достигается за счёт автоматизации операций и сокращения времени вспомогательных процессов.

На этапе планировки применение автогрейдеров с системами автоматического нивелирования обеспечивает снижение отклонений геометрических параметров до ±10 мм, что соответствует нормативным требованиям [10]. Данный фактор оказывает существенное влияние на распределение нагрузок и устойчивость дорожной конструкции.

Наиболее значимые результаты получены при анализе процесса уплотнения. Установлено, что применение современных вибрационных катков позволяет достигать коэффициента уплотнения 0,98-1,00. При снижении данного показателя до 0,95 наблюдается уменьшение прочности основания до 20%, что подтверждает критическую роль уплотнения.

Дополнительно выявлено, что качество уплотнения зависит от технологических параметров, включая толщину слоя и режим работы техники. При превышении допустимой толщины слоя наблюдается неравномерное уплотнение, что приводит к образованию слабых зон.

Сравнительный анализ показателей показывает, что применение современной техники позволяет сократить сроки строительства на 25-35%, при этом обеспечивая стабильное качество выполнения работ.

Таким образом, результаты исследования подтверждают, что эффективность строительства определяется комплексным взаимодействием техники и технологии.

4. Обсуждение

Полученные результаты свидетельствуют о том, что применение современной дорожно-строительной техники оказывает комплексное влияние на формирование свойств дорожной конструкции.

Ключевым фактором является обеспечение требуемой плотности и однородности структуры материалов. Недостаточное уплотнение приводит к снижению прочности и ускоренному разрушению дорожной одежды.

Кроме того, важную роль играет точность планировки, обеспечивающая равномерное распределение нагрузок. Нарушение геометрии приводит к концентрации напряжений и развитию деформаций.

Таким образом, эффективность строительства определяется не только характеристиками техники, но и правильной организацией технологического процесса.

5. Выводы

В результате проведённого исследования установлено, что технология строительства автомобильных дорог с применением современной дорожно-строительной техники оказывает комплексное влияние на качество и эксплуатационные характеристики дорожных конструкций. Полученные результаты позволяют сформулировать следующие обобщённые выводы.

1)Применение современной дорожно-строительной техники обеспечивает существенное повышение эффективности строительных процессов. Установлено, что использование высокопроизводительных машин позволяет увеличить объём выполняемых работ в среднем на 60–80%, что способствует сокращению сроков строительства и оптимизации использования ресурсов.

2)Качество дорожной конструкции в значительной степени определяется точностью выполнения технологических операций. Применение автогрейдеров с автоматизированными системами управления позволяет обеспечить соответствие геометрических параметров проектным значениям, что способствует равномерному распределению нагрузок и снижению вероятности локальных деформаций.

3)Ключевым параметром, определяющим долговечность дорожной конструкции, является коэффициент уплотнения. Установлено, что достижение нормативных значений (не менее 0,98) обеспечивает формирование плотной и однородной структуры материала, обладающей высокой прочностью и устойчивостью к внешним воздействиям.

4)Выявлено, что нарушение технологических режимов, включая несоблюдение толщины слоя, скорости движения техники и режима уплотнения, приводит к формированию неоднородной структуры материала и снижению его эксплуатационных характеристик. Такие дефекты, как правило, проявляются уже на стадии эксплуатации в виде просадок и трещинообразования.

5)Установлено, что эффективность строительства определяется не только техническими характеристиками отдельных машин, но и согласованностью их работы в рамках единого технологического процесса. Несоответствие производительности техники на различных этапах приводит к снижению качества и увеличению вероятности дефектов.

6)Проведённый анализ показал, что наибольшее влияние на долговечность дорожной конструкции оказывают процессы планировки и уплотнения. Именно на этих этапах формируются ключевые параметры, определяющие способность дорожной одежды воспринимать эксплуатационные нагрузки.

7)Практическая значимость результатов исследования заключается в возможности их использования при разработке технологических регламентов строительства автомобильных дорог, а также при выборе и обосновании применения дорожно-строительной техники в зависимости от условий строительства.

8)Полученные зависимости и выводы подтверждают необходимость комплексного подхода к организации строительного процесса, включающего контроль производительности, точности и степени уплотнения на всех этапах выполнения работ.

Таким образом, применение современной дорожно-строительной техники при условии соблюдения технологических параметров позволяет обеспечить повышение качества, надежности и долговечности автомобильных дорог.

Литература

1. СТ РК 1218-2003. Материалы на основе органических вяжущих для дорожного строительства. Методы испытаний. - Астана: Госстандарт Республики Казахстан, 2003.
2. Huang Y.H. Pavement Analysis and Design. - 2nd ed. - Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, 2018. - 775 p.
3. Brown S.F., Thom N.H. Principles of Pavement Engineering. - 2nd ed. - London: ICE Publishing, 2015. - 240 p.
4. Иванов В.П. Технология дорожного строительства: учебное пособие. - М.: Транспорт, 2020. - 320 с.
5. СТ РК 1225-2019. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Технические условия. - Нур-Султан: Комитет технического регулирования и метрологии, 2019.
6. Бондарь И.С., Алпыспаева Ж.А., Ахметова П.Т., Кыстаубаев С.Б., Хардиков П.Г. (2024). Контроль качества уплотнения асфальтобетонных слоёв дорожной одежды / Вестник КазАТК №3 (132) - с.52-60. https://doi.org/10.52167/1609-1817-2024-132-3-52-60.
7. Бондарь И.С., Ахметова П.Т., Хардиков П.Г. Кыстаубаев С.Б., Пернебеков С.С. (2024). Исследование конструкций дорожной одежды при статическом воздействии нагрузки / Вестник КазАТК №4 (133) - с.66-76. https://doi.org/10.52167/1609-1817-2024-133-4-66-76.
8. Бондарь И.С., Нугуманов Н.К. (2025). Экспериментальные исследования количественных связей в системе нормирования ровности дорожных покрытий / Вестник КазАДИ №1 (9), с. 9-17.
9. Кулбаев Е.Ш., Баратова Т.С., Бондарь И.С. (2026). К вопросу дорожно-климатического зонирования Казахстана на примере V климатической зоны / INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL «ENDLESS LIGHT IN SCIENCE» №2, 28 февраля 2026 г., Астана, Казахстан, с. 50-59. https://doi.org/10.5281/zenodo.18952661.
10. ГОСТ 9128-2013. Смеси асфальтобетонные дорожные и аэродромные. Технические условия. - М.: Стандартинформ, 2014.

УДК 625.7.8:666.98:665.775

ОЦЕНКА АРМИРОВАННЫХ ВОЛОКНАМИ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

[1]Гребенюк К.А., [2]Кравченко Д.В., [3]Королев С.В., [4]Оспанов А.Н., *[5]Баратова Т.С.
[1,2,3,4]Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б.Гончарова (КазАДИ), 050061, Алматы, Казахстан;

Аннотация	В статье рассматривается применение асфальтобетонных смесей с дисперсно-армирующими добавками на примере волокон. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения долговечности дорожных покрытий в условиях интенсивных транспортных нагрузок и резких климатических изменений. Проанализированы механизмы работы волоконных добавок в структуре асфальтабетона, включая повышение трещиностойкости, сопротивления колееобразованию и усталостной прочности. В рамках преддипломной практики проведён анализ технологий приготовления и укладки модифицированных смесей, а также их эксплуатационных характеристик. Полученные результаты показывают, что применение дисперсно-армирующих добавок способствует увеличению срока службы дорожных покрытий и снижению затрат на ремонт и содержание. Практическая значимость работы заключается в разработке рекомендаций по внедрению армированных асфальтобетонных смесей в дорожное строительство Казахстана.

Ключевые слова	*асфальтобетон, армирование, волокна, дорожные покрытия, долговечность*

Гребенюк К.А.	***Информация об авторах:*** *Студент 4-го курса, обучающийся по образовательной программе 6B07311 - «Строительство автомобильных дорог и аэродромов», Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б. Гончарова (КазАДИ), Алматы, Казахстан;*
Кравченко Д.В.	*Студент 4-го курса, обучающийся по образовательной программе 6B07311 - «Строительство автомобильных дорог и аэродромов», Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б.Гончарова (КазАДИ), Алматы, Казахстан;*
Королев С.В.	*Студент 4-го курса, обучающийся по образовательной программе 6B07311 - «Строительство автомобильных дорог и аэродромов», Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б.Гончарова (КазАДИ), Алматы, Казахстан;*
Оспанов А.Н.	*Студент 4-го курса, обучающийся по образовательной программе 6B07311 - «Строительство автомобильных дорог и аэродромов», Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б.Гончарова (КазАДИ), Алматы, Казахстан;*
Баратова Т.С.	*Автор-корреспондент, магистр технических наук, старший преподаватель, тьютер кафедры «Транспортное строительство и урбанистика» Казахского автомобильно-дорожного института им Л.Б. Гончарова. г. Алматы, Казахстан. ORCID ID: https//orcid.org/0009-0000-8813-6743. E-mail: baratovatatyana1@mail.ru*

1. Введение

В эпоху современных технологий создание надёжных и долговечных дорог остаётся важной задачей. Требования к дорожным покрытиям постоянно растут: они должны обладать высокой прочностью, долговечностью и устойчивостью к различным деструктивным воздействиям. Перспективное направление - применение армирующих добавок, в частности синтетических волокон. Их введение повышает устойчивость асфальтобетона: к пластическим деформациям; к усталостным трещинам; к температурным трещинам.

Хотя исследования по этой теме ведутся, комплексная оценка эффективности синтетических волокон в асфальтобетонных смесях пока недостаточно проработана. Необходимо уточнить влияние волокон на прочностные характеристики и энергию разрушения - с помощью современных методов испытаний и сравнения модифицированных составов с традиционными. Целью данной работы является исследование влияния синтетических волокон на механические и эксплуатационные характеристики асфальтобетона, включая его жёсткость, устойчивость к деформациям и трещинообразованию [10-11].

2. Материалы и методы

Волокна (рис. 1) - смесь полипропиленовых (обеспечивают распределение по всему объёму) и арамидных (отличаются высокой прочностью и термостойкостью). Мы использовали асфальтобетонную смесь (рис. 2) с максимальным размером заполнителя около 19 мм и битумным вяжущим класса PG 70-10.



Рисунок 1. На фото показан крупным планом армированные волокна, полипропилена и арамида

 ISBN 978-601-08-5209-9

Они равномерно распределялись по всей смеси и создавали плотное трехмерное армирование (рис. 2).



Рисунок 2. На фото показан крупным планом асфальтобетонной смеси, армированной волокнами.

В работе использовались лабораторные и полевые методы (рис. 3).



перед укладкой армированной волокнами асфальтобетонной смеси



Подготовка поверхности путем фрезерования края дорожного покрытия

Рисунок 3. Участок дорожного покрытия

Для оценки прочности и жёсткости были проведены следующие испытания: трёхосное сжатие; проверка устойчивости к пластическим деформациям; определение динамического модуля (E). Усталостную долговечность материала определяли методом трёхточечного изгиба (см. рис. 4 и 5). Трещиностойкость оценивали двумя способами: методом косвенного растяжения; методом для анализа распространения трещин.

 ISBN 978-601-08-5209-9



Рисунок 4. Образец, закрепленный на нагрузочной раме для непрямого испытания на прочность при растяжении

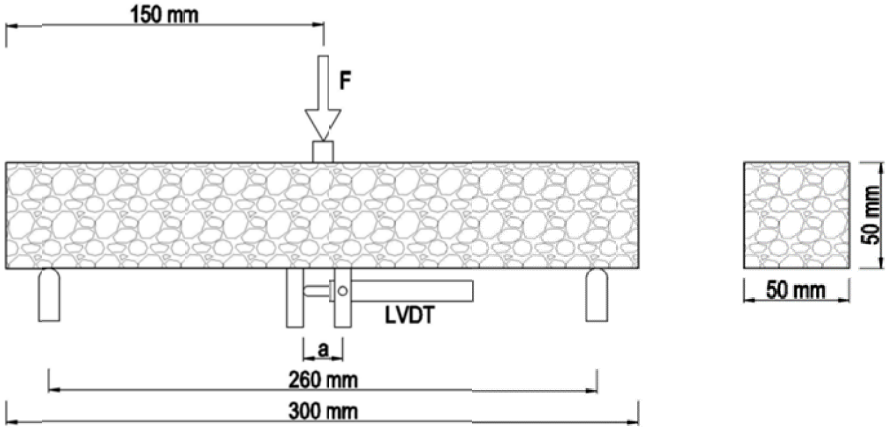


Рисунок 5. Схема образца при испытании на изгиб при низких температурах

Мы провели ряд испытаний для комплексной оценки свойств асфальтобетонной смеси.

Испытание на трёхосное сжатие, позволило определить прочностные параметры смеси - сцепление и угол внутреннего трения, и смоделировать напряжённое состояние, близкое к реальным условиям эксплуатации дорожного покрытия. Для оценивания устойчивости и деформационных свойств материала, образцы цилиндрической формы подвергались постепенно нарастающему нагружению до разрушения образца. Жесткость асфальтобетона определим по методу динамического модуля, т.е. максимально приближенных к реальным транспортным нагрузкам включая температурные перепады (зима-лето). Усталостная долговечность была определена методом трехточечного изгиба, т.е. нагрузка прилагается к образцу циклично. По методу косвенного растяжения мы определили прочность асфальтобетона при отрицательных температурах, способность материала сопротивляться трещинообразованию. Метод интегрального разрушения помогает определить, как быстро появляются трещины в асфальтобетонном образце. На эксплуатируемых участках уложенного асфальтобетонного покрытия произвели отслеживание и учет появления трещин и прочих дефектов, затем сравнили полученные данные с результатами лабораторных исследований [12].

3. Результаты

По результатам испытаний асфальтобетона с добавлением волокон арамида мы наблюдаем упрочнение свойств материала. Данная смесь в уплотненном состоянии показывает отличное сопротивление сдвиговому воздействию, возрастает коэффициент сцепления и повышается прочность покрытия дорожной конструкции. Подтверждение полученных результатов мы видим в таблице 1.

Таблица 1. Физическо-механические характеристики волокон

Материалы	Полипропилен	
Форма	Twisted Fibrillated Fiber	Multifilament Fiber
Удельный вес	0.91	1.45
Предел прочности при растяжении (МПа)	483	3000
Длина (мм)	19.05	
Цвет	N/A	N/A
Стойкость к воздействию кислот и щелочей	инертный	хороший
Температура разложения (°C)	157	>450

Результаты испытаний армированной асфальтобетонной смеси

Параметр «Flow Number» по результату многочисленных испытаний показывает высокий процент сопротивления накопления остаточных деформаций в материале. Армированная смесь демонстрирует улучшенные эксплуатационные характеристики по сравнению с обычной. Процесс развития деформаций в ней протекает с меньшей скоростью, а момент разрушения наступает позднее. Исследования динамического модуля выявили, что армированная смесь отличается повышенной жёсткостью - сохраняется при любых сочетаниях температуры и частоты. Особенно ярко преимущество проявляется в условиях высоких температур: волокна эффективно препятствуют размягчению битумного вяжущего.

Анализ усталостной долговечности показал неоднозначную картину: при умеренных нагрузках армированная смесь служит дольше, но в условиях высоких нагрузок базовый состав оказывается предпочтительнее. Кроме того, у армированной смеси повысились ключевые показатели трещиностойкости: возросли прочность на растяжение и энергия разрушения - особенно важно в холодную погоду. Данные об распространении трещин подтвердили её более высокую сопротивляемость, что нашло отражение в энергетических параметрах разрушения. Результаты полевых наблюдений совпали с лабораторными данными: покрытие с контрольной смесью дало трещины, в то время как армированное покрытие осталось целым (см. табл. 2 и 3).

Таблица 2. Коэффициенты регрессии для уравнения усталости

Тип смеси	50% от начальной жесткости, Eo при N=50 циклов			
	K_1	K_2	K_3	R^2
Контроль	2.3496	2.3601	1.3853	0.914
Армированный волокном	6.48E-22	7.8357	1.0839	0.988

Таблица 3. Результаты испытаний на остаточную деформацию при многократной нагрузке

Тип смеси	"d (psi)	Количество потоков (циклов)	Осевая постоянная деформация #p [%] при разрушении
Контроль	15	436	0.84
	15	241	0.56
	15	166	0.95
	Средний	281	0.78

Тип смеси	"d (psi)	Количество потоков (циклов)	Осевая постоянная деформация #p [%] при разрушении
	Стандартное отклонение	139	0.20
	% Коэффициент вариации	49.6	25.8
Армированный волокном	15	3336	0.47
	15	3466	0.60
	15	5916	0.46
	Средний	4,239	0.51
	Стандартное отклонение	1,453	0.08
	% Коэффициент вариации	34	15.3

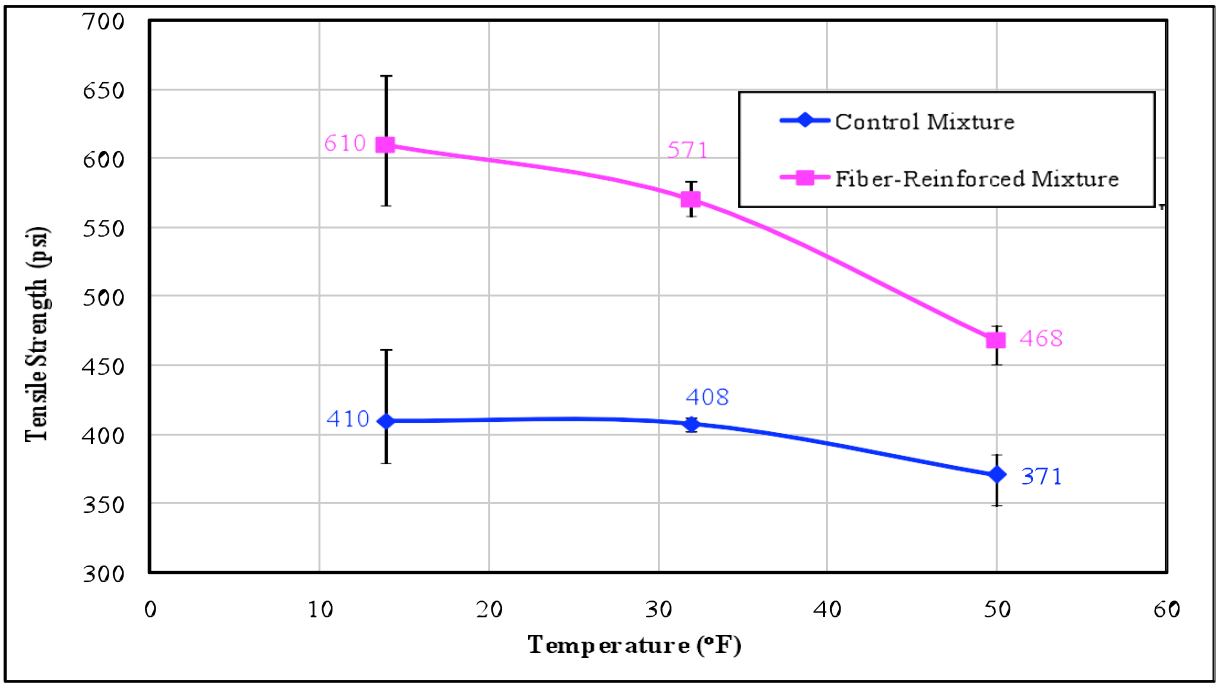


Рисунок 7. Сравнение результатов определения прочности при растяжении

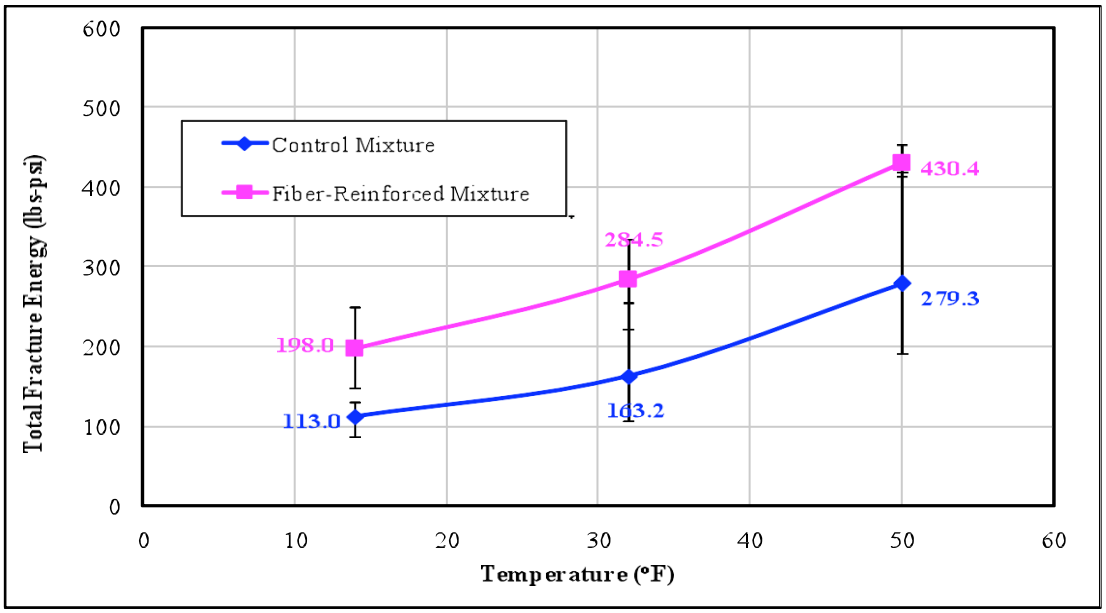


Рисунок 8. Сравнение результатов по общей энергии разрушения.

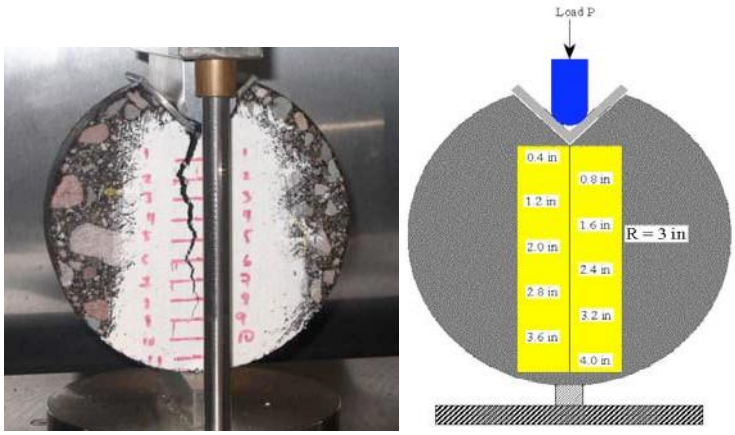


Рисунок 9. Типичная схема тестирования C*.

4. Обсуждение

Испытания подтвердили: синтетические волокна заметно улучшают свойства асфальтобетона. Главный плюс - рост устойчивости к пластическим деформациям: показатель *Flow Number* вырос, а накопление остаточных деформаций снизилось. Благодаря этому армированный асфальт лучше сопротивляется колееобразованию, особенно летом - при высоких температурах и интенсивных нагрузках. За счёт роста динамического модуля увеличилась жёсткость и несущая способность материала. Эффект наиболее заметен при высоких температурах: когда битум размягчается, армирующий «каркас» берёт нагрузку на себя. Волокна создают внутри смеси пространственную сетку: она повышает прочность на растяжение и препятствует быстрому распространению трещин. Однако с усталостной долговечностью ситуация неоднозначна: при небольших деформациях армированный состав выигрывает, но при высоких нагрузках обычный асфальт долговечнее - вероятно, из-за избыточной жёсткости модифицированной смеси. Для оценки долгосрочной эффективности волокон в разных климатических зонах Казахстана нужны дополнительные исследования [13].

5. Выводы

Внедрение армирующих волокон - многообещающий шаг к созданию более долговечных дорожных покрытий. Такой подход решает ключевые проблемы: уменьшает колейность, сдерживает образование трещин и повышает жёсткость асфальтобетона, особенно в жару. Волокна работают как внутренний каркас, укрепляя структуру материала. Но есть нюанс: при оценке усталостной долговечности картина не столь однозначна - в экстремальных условиях базовый состав порой проявляет большую стойкость. Поэтому, хотя технология и перспективна, для её широкого внедрения нужны дополнительные исследования.

Литература

1. Bueno B.S., Silva W.R., Lima D.C., Minete E. Engineering Properties of Fiber Reinforced Cold Asphalt Mixes // Journal of Environmental Engineering. 2003. Vol. 129, №10.
2. Lee S.J., Rust J.P., Hamouda H., Kim Y.R., Borden R.H. Fatigue Cracking Resistance of Fiber-Reinforced Asphalt Concrete // Textile Research Journal. 2005. Vol. 75, №2.
3. Witczak M.W., Kaloush K.E., Pellinen T., El-Basyouny M., Von Quintus H. Simple Performance Test for Superpave Mix Design. NCHRP Report 465. Washington, D.C., 2002.
4. Roque R., Buttlar W.G., et al. Indirect Tensile Test for Asphalt Mixtures // AASHTO TP9-02. 2002.

5. SHRP-A-404. Fatigue Response of Asphalt-Aggregate Mixes. Strategic Highway Research Program. Washington, D.C., 1994.
6. Mamlouk M.S., Mobasher B. Cracking Resistance of Asphalt Rubber Mix versus Hot-Mix Asphalt // International Journal of Road Materials and Pavement Design. 2004. Vol. 5, №4.
7. Majidzadeh K. Application of Fracture Mechanics for Bituminous Concrete // FHWA Report. 1976.
8. Abdulshafi O. Rational Material Characterization of Asphalt Concrete Pavements: PhD Dissertation. Ohio State University, 1983.
9. FORTA Corporation. Fiber Reinforcement for Asphalt Mixtures. Technical Report №30-02, 2005.
10. Бондарь И.С., Алпыспаева Ж.А., Ахметова П.Т., Кыстаубаев С.Б., Хардиков П.Г. (2024). Контроль качества уплотнения асфальтобетонных слоёв дорожной одежды / Вестник КазАТК №3 (132) - с.52-60. https://doi.org/10.52167/1609-1817-2024-132-3-52-60.
11. Бондарь И.С., Ахметова П.Т., Хардиков П.Г. Кыстаубаев С.Б., Пернебеков С.С. (2024). Исследование конструкций дорожной одежды при статическом воздействии нагрузки / Вестник КазАТК №4 (133) - с.66-76. https://doi.org/10.52167/1609-1817-2024-133-4-66-76.
12. Бондарь И.С., Нугуманов Н.К. (2025). Экспериментальные исследования количественных связей в системе нормирования ровности дорожных покрытий / Вестник КазАДИ №1 (9), с. 9-1
13. Кулбаев Е.Ш., Баратова Т.С., Бондарь И.С. (2026). К вопросу дорожно-климатического зонирования Казахстана на примере V климатической зоны / INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL «ENDLESS LIGHT IN SCIENCE» №2, 28 февраля 2026 г., Астана, Казахстан, с. 50-59. https://doi.org/10.5281/zenodo.18952661.

УДК: 691.32
МРНТИ: 67.09.33

МОДИФИКАТОРЫ БЕТОНОВ: ОБЗОР И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

[1]Бошакова Н.Н., [1]Габдоллаева С.Г., [1]Дуанбаева С.Б., [1]Әлмахан Н.М., [1*]Бектурганова Н.Е.

[1]Казахский автомобильно-дорожный институту имени Л.Б. Гончарова, Алматы, Республика Казахстан
*Автор-корреспондент e-mail: bektur_n@mail.ru

Аннотация	В работе представлен обзор с сопоставительным анализом различных видов добавок и их влияния на физико-химические и механические свойства бетона. Все модификаторы условно классифицированы на несколько групп: химические (пластифицирующие, регулирующие сроки схватывания, воздухововлекающие, гидрофобизирующие), минеральные (зола-унос, шлак, микрокремнезём), полимерные, наноразмерные компоненты и армирующие волокна. Их эффективность определяется различными механизмами воздействия: суперпластификаторы обеспечивают диспергирование цементных зерен и снижение водоцементного отношения, что приводит к формированию более плотной и прочной структуры. Воздухововлекающие вещества создают систему равномерно распределённых микропор, повышающих устойчивость к циклам замораживания и оттаивания. Пуццолановые минеральные добавки вовлекаются во вторичные реакции гидратации, способствуя снижению пористости и проницаемости, а волокнистые компоненты ограничивают развитие микротрещин и повышают трещиностойкость материала. Проведённый анализ показывает, что использование модификаторов существенно улучшает реологические параметры бетонной смеси, повышая её подвижность и стабильность во времени, а также положительно влияет на

	свойства затвердевшего бетона: уменьшается усадка, возрастает плотность, повышается стойкость к коррозионным процессам и неблагоприятным воздействиям среды. Вместе с тем ключевое значение имеет грамотный подбор состава с учётом совместимости компонентов и условий эксплуатации. Наиболее эффективным подходом является комбинирование различных добавок, позволяющее получить выраженный синергетический результат, хотя при этом необходимо учитывать экономические и экологические аспекты, а также ограниченность данных по долговременной эффективности, особенно для наномодифицированных систем.
Ключевые слова	Модификатор, бетон, полимер, волокна, наномодификаторы.
Бошакова Н.Н., Габдоллаева С.Г., Дуанбаева С.Б., Әлмахан Н.М	***Информация об авторах:*** *студенты 4 курса ОП 6В07308 «Строительство», Алматы, Казахстан*
Бектурганова Н.Е.	*к.х.н., ассоц. профессор, КазАДИ им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан, E-mail:bektur_n@mail.ru*

1. Введение

Бетон – самый распространенный материал в строительной индустрии, и современные требования к его свойствам (прочности, жесткости, долговечности) предъявляют высокие задачи по его модификации. Модификаторы бетонов (химические и минеральные добавки) [1-4] вводят в бетонную смесь для изменения одного или нескольких свойств (реологических, прочностных, долговечных) [4-6]. Согласно межгосударственному стандарту ГОСТ 24211-2008 (аналог EN 934-2) [3], модификаторы классифицируют по основному эффекту: добавки регулируют реологию (пластифицирующие, суперпластифицирующие, воздухововлекающие и стабилизирующие добавки) [1-3], скорость твердения (ускорители, замедлители) [7-8], прочность, проницаемость, морозостойкость, коррозионную стойкость и т.д., а также выделяют специальные (противоморозные, гидрофобизирующие) и минеральные добавки активного или инертного типа [9]. Цель обзора – на основе современных исследований (последние 15 лет) и нормативов дать систематизированное описание механизмов действия модификаторов, их влияния на свойства бетона и долговечность, сравнить различные подходы и выявить перспективы и ограничения их применения.

2. Методы поиска и отбора литературы

Поиск литературы проводился по базам данных Web of Science, Scopus, eLibrary.ru, Google Scholar и казахстанских журналов с ключевыми словами на русском и английском языках: модификатор бетона, добавка к бетону, concrete admixture, concrete modifiers, polymer concrete modifiers, fiber reinforced concrete durability и др. Рассматривались рецензируемые статьи и стандарты периода 2010–2025 гг. Критерием отбора являлось наличие количественных данных о влиянии добавок на свойства бетона, а также описания механизмов действия. Выбор литературы отражает сравнения как на материал, так и практические аспекты.

3. Результаты

3.1. Классификация и механизмы действия модификаторов

По ГОСТ 24211-2008 [1] модификаторы бетона разделяют на классы по эффекту: пластифицирующие (включая суперпластификаторы) – снижают межчастичное трение и водуцементное отношение за счет диспергирования цемента; водоредуцирующие – аналогично уменьшают расход воды; стабилизирующие и контролирующие сохранность подвижности – препятствуют расслаиванию и удерживают осадку; воздухововлекающие – образуют микропены для повышения морозостойкости [2,10]. Отдельно выделены добавки, влияющие на свойства затвердевшего

бетона: ускорители и замедлители схватывания, добавки, повышающие прочность (например, комплексные пластификаторы с добавками, вакцолики), снижающие проницаемость (кристаллизующиеся гидроизоляционные аддитивы), поднимающие морозостойкость (антифризы) и коррозионную стойкость (ингибиторы коррозии). Есть специальная группа: противоморозные добавки (органические и неорганические вещества для зимних бетонов) и гидрофобизаторы (силановые/силоксановые смеси) [10-11]. Минеральные добавки делят на активные (пуццолановые и вяжущие) и инертные. Данная классификация определяет структуру обзора: далее для каждой группы приводятся примеры и раскрываются механизмы действия.

Химические добавки. Суперпластификаторы (на основе карбоксилатов и др.) – полимерные поверхностно-активные вещества, создающие стерический или электрический заряд между цементными зернами [2-5]. Они резко уменьшают вязкость смеси и позволяют снизить W/C на 15–30 % при сохранении требуемой осадки. Например, суперпластификаторы «Мобет-2» или «Одолит-К» продемонстрировали снижение W/C на ≈27 % (против 16 % у обычного ПАВ). В результате плотность бетона повышается, а прочность и морозостойкость существенно улучшаются: по данным [2], морозостойкость возросла на несколько ступеней, водонепроницаемость – на 3–7 классов. Преимущества суперпластификатора - высокая эффективность при малой дозе (0,5–2 % от массы цемента), улучшение подвижности смеси. Недостатки - высокая чувствительность к дозировке и совместимости с цементом (явление «переразжижения»), дороговизна, возможные побочные эффекты (задержка схватывания, снижение адгезии) [2].

Водоредуцирующие и пластифицирующие добавки (линговый спирт, нафта- и меламинсульфонаты) по сути действуют аналогично суперпластификаторам, но с меньшей эффективностью (обычно ≈10–15 % снижение воды) [5]. Воздухововлекающие добавки (лаурилсульфат, древесная смола) образуют стабильные пузырьки воздуха (~100–300 мкм), что улучшает морозостойкость бетона, компенсируя расширение замерзающей воды. Ускорители схватывания ($CaCl_2$, нитриты, силаты) ускоряют гидратацию цемента, что полезно в холодную погоду, но могут снижать долговечность (коррозионный риск при хлоридах) [1,3]. Замедлители (сахар, фосфаты) удлиняют сроки схватывания; применяются при сложной доставке или для самоуплотняющихся смесей. Противоморозные добавки (гликоли, этиленгликоль, мочевина) предотвращают замерзание смеси, но могут нарушать связь цементного камня при ненадлежащем дозировании. Гидрофобизирующие добавки (силикатные смеси, стеараты кальция) расходятся по капиллярам, образуя водоотталкивающий слой, что снижает водопоглощение и повышает стойкость к химическому воздействию [12-13].

Минеральные добавки. К минеральным (чаще называют добавки или заполнители) относятся вещества, вводимые в бетон вместо части цемента или песка. Микрокремнезём (побочный продукт ферросплавов) – ультратонкая фракция SiO_2, активный пуццолан; типовая дозировка 5–10 % от массы цемента [1-3]. Он заполняет поры в цементном камне и реагирует с $Ca(OH)_2$, образуя дополнительный C–S–H; результат – существенное повышение прочности и значительное сокращение проницаемости. Летучая зола (продукт тепловых электростанций) и доменный шлак (от металлургии) применяются как частичная замена цемента (15–40 %), что дает стойкость к агрессивным средам и уменьшает тепловыделение. По данным [14], сочетание гидроокиси кальция и летучей золы повышает прочность, долговечность и снижает издержки, одновременно уменьшая углеродный след бетона (известно, что такое сочетание увлекает CO_2). Метакремнезём (природный пуццолан) заменяет до 5–15 % цемента, улучшает пластичность суспензии и дает эффект «самозагустевания» смеси. Минеральные добавки обладают плюсами: невысокая цена, экологическая выгода (использование отходов), снижение необходимости цемента; минус – снижение ранней прочности (часто компенсируется ускорителями) [3,14].

Полимерные модификаторы. Полимеры вводят в бетон в виде латексных эмульсий (стирол-бутадиеновых, акриловых, винил-ацетатных и др.) или водорастворимых полимеров (синтетические целлюлозы, лигносульфонаты и т.п.). Полимер образует в затвердевшем бетоне гибкую пленку, повышает вязкость цементного камня и адгезию к арматуре. По [16], полимерные добавки улучшают долговечность бетонов за счет снижения водопоглощения, повышения вязкости (прочности при растяжении) и повышения сцепления цемента с арматурой. Типичные дозы полимерных эмульсий – 5–15 % от массы цемента; добавление повышает морозостойкость и водонепроницаемость. Плюсы: улучшение адгезии, ударопрочности и гибкости бетона, способность предотвращать коррозию (покрытие стержней), повышение трещиностойкости. Минусы: высокие затраты, снижение сжимаемой прочности при больших дозах (часто усиливается за счет снижения заполнителя), ухудшение технологичности смеси (сцепление с бетоном высокой адгезии при большой доле полимера). Полимерные волокна (арганик, углерод) также модифицируют бетон по аналогичному принципу – механическое армирование композита [4, 12, 15].

Наномодификаторы. Наночастицы (SiO_2, Al_2O_3, TiO_2, углеродные нанотрубки и др.) обладают очень высокой удельной площадью. Их роль – выступать структурообразующими ядрами, катализаторами гидратации и нанореформировкой матрицы. Эксперименты показывают, что введение нано-SiO_2 на уровне сотых процента от цемента может ускорять гидратацию в 9–28 раз и увеличивать прочность бетона в 1,5–2 раза [6-7]. Наномодификаторы уменьшают размер пор, улучшают микрооднородность и повышают пластичность цементного камня. Преимуществами наномодификаторов являются существенное повышение прочности и долговечности при мизерных дозах, возможность создания сверхпрочных бетонов (UHPC, 3D-печать). Недостатками - очень высокая стоимость, сложность равномерного распределения наноагента в смеси (склонность к агломерации), недостаток данных по долговременному эффекту [17].

Волокна. Волокна (стальные, базальтовые, стеклянные, полипропиленовые, поливиниловые и др.) создают дисперсное армирование бетона. При нагрузке и усадке волокна «мостиками» пересекают трещины, значительно повышая прочность при растяжении и пластичность бетона. Как отмечено в обзоре [8], добавление стальных или неметаллических волокон повышает и предел текучести, и пластичность бетона, замедляя развитие трещин. Это повышает долговечность: волокна контролируют ширину трещин и замедляют коррозию арматуры. На рис. 1 видно, что бетон с 1–4 % объёмных волокон проходит стадию множественного микрорастрескивания (straining hardening) перед разрушением, тогда как обычный бетон даёт один раскол [8].

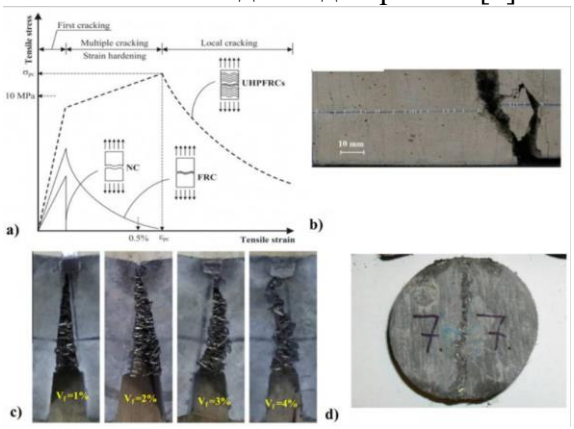


Рисунок 1. Схема (a) и фотографии (b–d) демонстрируют влияние армирующих волокон (объемная доля Vf) на напряженно-деформированное поведение бетона: в УВПБК с волокнами развивается стадия множественного растрескивания и пластической деформации (strain-hardening), в отличие от обычного ННБК [8].

Обычное содержание волокон – 0,5–2 % (сталь: 1–2,5 % от масс.). Прослеживается заметное повышение прочности при растяжении и изгибе, значительная трещиностойкость, улучшенная морозо- и огнестойкость. А также ухудшение удобоукладываемости смеси (особенно длинные волокна), необходимость применения суперпластификаторов для компенсации, возможное увеличение расхода цемента при высоких дозах волокон. Волокна широко применяют в дорожных покрытиях, промышленных полах и предварительно напряженных конструкциях [13, 18].

3.2. Влияние модификаторов на свойства бетона

Реология, удобоукладываемость. Суперпластификаторы и водоредуцирующие добавки резко увеличивают текучесть бетонной смеси: при том же W/C осадка конуса возрастает, а вязкость снижается (примерно в 2–3 раза) [4]. Это улучшает удобоукладываемость и позволяет получать самоуплотняющиеся бетоны. Некоторые полимерные добавки (целлюлозные эфиры) наоборот повышают вязкость для стабилизации осадки. Волокна снижают подвижность смеси и уменьшают сохранность осадки из-за механического сопротивления (обычно для компенсации вводят дополнительный пластификатор). Воздухововлекающие модификаторы увеличивают устойчивость смеси за счет пеножиров. Наночастицы (SiO_2) могут незначительно увеличить ригидность смеси, особенно в сочетании с другими аддитивами [4, 10].

Твердеющие свойства и прочность. Введение эффективного суперпластификатора при прочих равных условиях повышает прочность бетона (за счет снижения пористости). Например, [4] показывает, что плотность, прочность и морозостойкость бетона растут при снижении W/C на 27 %. Микрокремнезём и другие пуццоланы дают значительный прирост прочности на 28 сут. (на 20–50 % по сравнению с контрольным составом) вследствие заполнения пор и образования вторичных C–S–H. Полимерные добавки (эмульсии) улучшают гибкость и адгезию: при дозе ~5–10 % латекса наблюдается несколько более низкая прочность на сжатие, но повышенная прочность на растяжение и меньшая водопоглощаемость. Наночастицы демонстрируют прирост прочности ~1,5–2× при дозировке <1 %. Волокна увеличивают прочность при растяжении и изгибе: согласно [8], бетон с волокнами обладает в несколько раз большей энергией разрушения (fracture energy) и прочностью на растяжение по сравнению с обычным. Однако добавление волокон даёт мало прибавки в прочности на сжатие [6-7].

Усадка и растрескивание. Некоторые специальные добавки (SRAs) снижают пластическую и усадочную усадку. Волокна существенно уменьшают внутр. напряжения и ширину трещин при усадке, предотвращая образование крупных усадочных трещин. Минеральные добавки (микрокремнезём) слегка увеличивают усадку из-за увеличения общей гидратации, тогда как летучая зола может снижать тепловую усадку за счет более медленного развития прочности [3,16].

Проницаемость и долговечность. Минеральные активные добавки и суперпластификаторы уплотняют цементный камень, уменьшая проницаемость для воды и агрессивных ионов. По данным [4], водонепроницаемость бетона с суперпластификатором выросла на 3–7 классов. Это повышает стойкость к проникновению хлоридов, сульфатов и CO_2 (карбонизации). Волокна, препятствуя формированию сквозных трещин, замедляют коррозию арматуры при наличии агрессивных сред. Добавки-гидрофобизаторы создают гидрофобный слой в порах, еще сильнее ограничивая влагопоглощение. Морозостойкость повышается от условий: воздухововлекание – на 1–3 класса по ГОСТ, а суперпластификаторы + минеральные добавки обеспечивают более однородные и мелкопористые структуры, что также увеличивает морозоустойчивость. В совокупности модификаторы позволяют получать бетоны с высокими характеристиками, показывающие улучшенные долговечность и стойкость к циклическим нагрузкам и агрессивным воздействиям [1,3, 14].

4. Обсуждение

Сравнительный анализ. Химические добавки (ПАВ, пластификаторы) обеспечивают быстрый и управляемый эффект за счет низких доз (0,5–2 %), но их применение требует точного дозирования и совместимости компонентов [2, 4-5]. Минеральные добавки (микрокремнезём, летучая зола, шлак) экономически выгодны и экологичны (замена части цемента), однако нуждаются в большем объеме (десятки процентов от массы цемента) и обычно замедляют раннее твердение [3, 10-11]. Полимерные модификаторы вносят гибкость и высокую адгезию, но дороги и могут снижать прочность на сжатие; они часто используются в ремонтных и специальных составах [4-5,]. Наномодификаторы дают значительные усиления при мизерных дозах, однако высока их стоимость и недостаточно изучен их долгосрочный эффект [6-7]. Волокна (включая биологические или вторичные) добавляют значительную вязкость и трещиностойкость, но ухудшают удобоукладываемость, что требует дополнительного пластифицирования [8,13]. Преимущества каждого класса следует соотносить с задачей: например, при необходимости снизить W/C и сохранить осадку целесообразен суперпластификатор; для повышения коррозионной стойкости – сочетание воздушных и коррозионных ингибиторов; для повышения пластичности – полимерные эмульсии и/или PVA-волокна.

Ограничения и нерешенные вопросы. Серьёзной задачей остаётся обеспечение совместимости компонентов: далеко не все добавки корректно взаимодействуют друг с другом и с конкретным видом цемента. Так, повышенная щёлочность летучей золы способна провоцировать реакции с щелочечувствительными заполнителями (ACP), что требует применения специальных ингибирующих веществ. Несмотря на высокий потенциал нанотехнологий, вопросы их стандартизации и экологической безопасности пока проработаны недостаточно. Кроме того, сведения о долговременной эксплуатации бетонов с нанодобавками и органическими модификаторами существенно уступают по объёму данным по традиционным материалам. Отмечается и так называемый «зелёный разрыв»: хотя существует широкий спектр добавок на основе промышленных отходов (например, зольные остатки или керамическая пыль), их практическое применение всё ещё ограничено из-за нехватки исследований.

С экологической и экономической точек зрения использование минеральных добавок (зола, шлак, метакаолин) способствует снижению углеродного следа за счёт уменьшения доли цемента. В отдельных случаях, например при сочетании извести с золой, возможно не только улучшение свойств бетона, но и частичное связывание CO_2. Применение суперпластификаторов позволяет уменьшить расход цемента (примерно на 10–20 %) благодаря снижению водоцементного отношения, что также повышает эффективность. В то же время полимерные и наноматериалы отличаются высокой энергоёмкостью производства, однако их использование оправдано в конструкциях с повышенными требованиями к долговечности, поскольку снижает частоту ремонтов. Волокнистое армирование увеличивает срок службы и надёжность бетонных элементов, уменьшая вероятность отказов. В целом внедрение модификаторов даёт возможность получать более прочные бетоны при меньшем расходе вяжущего (экономия до 15–25 %), что одновременно снижает затраты и негативное воздействие на окружающую среду.

5. Выводы

Модифицирующие компоненты играют решающую роль в создании бетонов с заданными характеристиками и внедрении ресурсосберегающих технологий. По итогам анализа можно выделить несколько ключевых положений.

Во-первых, механизмы их действия охватывают все стадии формирования материала: от регулирования свойств свежей смеси (диспергирование частиц, изменение водоцементного отношения, улучшение реологии) до процессов структурообразования

цементного камня (гидратация, формирование C–S–H фаз, армирование волокнами на микроуровне).

Во-вторых, достигаемые эффекты зависят от типа добавок: суперпластификаторы и пуццолановые материалы способствуют получению плотных и высокопрочных бетонов; воздухововлекающие компоненты и ингибиторы повышают стойкость в агрессивной среде; полимерные добавки и волокна увеличивают трещиностойкость и деформативность; наноматериалы формируют особо прочные структуры.

Сравнительный анализ показывает, что универсального решения не существует — подбор модификаторов определяется конкретными задачами. На практике эффективнее комбинировать добавки: например, суперпластификатор с микрокремнезёмом для высокопрочных бетонов, полимерные и гидрофобные компоненты для ремонтных составов, либо волокна совместно с пластификаторами для промышленных покрытий.

С точки зрения экологии предпочтение отдают вторичным минеральным ресурсам (зола, шлак), позволяющим снизить углеродный след. Применение органических добавок оправдано, если увеличивается срок службы конструкций. Перспективными направлениями остаются исследования комплексного действия добавок, долговечности наномодифицированных бетонов и обновление нормативной базы.

При разработке состава важно учитывать совместимость компонентов с цементом, влияние дозировок на удобоукладываемость и прочность, а также проводить экспериментальные замесы. Использование суперпластификаторов позволяет снижать расход цемента при оптимизации В/Ц. Минеральные добавки обычно вводят в пределах 5–20 % как частичную замену цемента с контролем ранней прочности. Воздухововлекающие компоненты дозируют для обеспечения требуемой морозостойкости. В сложных условиях эксплуатации применяют специализированные добавки согласно нормативам. В целом, наилучшие результаты достигаются при комплексном использовании модификаторов, обеспечивающем выраженный синергетический эффект.

Литература

1. ГОСТ 24211-2008 «Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия». (2021). Российская Федерация.
2. Дадабаева, Н. У. (2026). Инновационные подходы к улучшению характеристик композитного бетона с применением суперпластификаторов. *American Journal of Multidisciplinary Bulletin, 4(1),* 442–450.
3. ГОСТ Р 56592-2015. «Добавки минеральные для бетонов и строительных растворов». Общие технические условия. Российская Федерация.
4. Chung, D. D. L. (2004). Review: Use of polymer for cement-based structural materials. *Journal of Materials Science, 39(9),* 2973–2978.
5. Bekturganova, N.Ye., Kolesnikova, I.V. (2025). Effect of polymer additivies on improvement of concrete properties. *Advances in polymer technologies. Article ID 6235216, 9 pages. https://doi.org/10.1155/adv/6235216*
6. Chernishov, E. M., Artamonova, O. V., & Slavcheva, G. S. (2020). Nanomodification of cement-based composites in the technological life cycle. *Nanotechnologies in Construction, 12(3),* 130–139.
7. Artamonova, O.V., Slavcheva, G.S., Shvedova, M.A. (2020). Effectiveness of nanotubular additives in the modification of cement systems. *Inorganic Materials. V. 56,* 105–110. DOI: 10.1134/S0020168520010021
8. Paul, S. C., van Zijl, G. P. A. G., & Šavija, B. (2020). Effect of fibers on durability of concrete: A practical review. *Materials, 13(20),* 4562.
9. Rizwan, S. A., Ahmad, K., & Ahmad, H. (2001). A comparative study of modified concretes. *Journal of Materials in Civil Engineering, 13(6),* 412–420.

10. He, Y., Mao, R, Lü, L., and Hu Shuguang (2017). Hidration Products of Sement- Silica Fume-Guarts Powder Mixture Under Different Curing Regimes. *Journal of Wuhan University of Technology—Materials Science Edition 32, no.* 3.
11. Rao, G. A. (2003). Investigations on the Performance of Silica Fume-Incorporated Cement Pastes and Mortars. *Cement and Concrete Research 33, no. 11* 1765–1770.
12. Cheng, J., Shi, X., Xu, L. et al. (2023). Investigation of the Effects of Styrene Acrylate Emulsion and Vinyl Acetate Ethylene Copolymer Emulsion on the Performance and Microstructure of Mortar. *Journal of Building Engineering 75*.
13. Veigas, M. G., Najimi, M. and Shafei B. (2022). Cementitious Composites Made With Natural Fibers: Investigation of Uncoated and Coated Sisal Fibers. *Case Studies in Construction Materials 16,* e00788.
14. Rizwan, S.Ali, Ahmad, A, Ahmad, K. (2001). A comparative study of modified concretes. *Proc 68th Annual session of Pakistan Engineering Congress, Vol. 68, Paper No. 621,* 313-323.
15. Dow Construction Chemicals, “Polymer-Modified Mortars,” 2024, https://www.concreteconstruction.net/how-to/polymermodified-mortars_o .
16. Ерғали, Х.Е. (2025). Разработка технологии легкого конструкционного бетона с применением туфа. Диссер. на соиск. доктора философии (PhD), 171 с.
17. Chenglong, Z. and Chen, Y. (2019). The Effect of Nano-SiO2 on Concrete Properties: A Review. *Nanotechnology Reviews 8, no. 1.*
18. Dosages of silica fume in concrete industry. (Электрон. ресурс. Дата обращения 28.03.26) https://hsamaterial.com/blog/dosages-of-silica-fume-in-concrete-industry.html#:~:text=Dosages%20of%20Silica%20Fume%20in,depending%20on%20the%20specific

УДК: 625.745
МРНТИ: 73.31.11

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ УКРЕПЛЕНИЯ ОТКОСОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ С ПРИМЕНЕНИЕМ АРМИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

[1]Қогабай Ә.А., [2]Заиров Д.З., [3]Ысканбеков Д.Д., [4]*Бектурсунова Г.С.

[1,2,3,4] Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б.Гончарова, г. Алматы, Казахстан
*Автор-корреспондент e-mail: kamila_19jule@mail.ru

Аннотация В статье рассматривается эффективность применения армирующих конструкций и современных геосинтетических материалов для укрепления откосов автомобильных дорог. Устойчивость откосов является важным фактором обеспечения надежности и долговечности дорожной инфраструктуры, поскольку они подвержены воздействию атмосферных осадков, эрозионных процессов, температурных колебаний и механических нагрузок. Статья посвящена совершенствованию технологий укрепления откосов автомобильных дорог с применением современных армирующих конструкций. В исследовании рассматривается широкий спектр решений - от традиционных георешетчатых систем до современных композитных армирующих элементов. Основной целью исследования является определение наиболее эффективных методов укрепления откосов, позволяющих предотвратить разрушение дорожных конструкций, повысить их устойчивость и обеспечить длительную и надежную эксплуатацию. Результаты показывают, что применение армирующих конструкций способствует повышению устойчивости откосов, снижению эрозионных процессов и увеличению срока службы дорожных сооружений. Установлено, что

использование геосинтетических материалов позволяет повысить коэффициент устойчивости откосов и оптимизировать затраты на строительство и эксплуатацию автомобильных дорог.

Ключевые слова укрепление откосов, автомобильные дороги, армирующие конструкции, геосинтетические материалы, георешетки, геотекстиль, устойчивость откосов.

Информация об авторах:

Бектурсунова Г.С. *Магистр технических наук, кафедра «Транспортное строительство и урбанистика», Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, г. Алматы, Республика Казахстан.ORCID ID: https://orcid.org/00009-0003-2635-4512 . E-mail: kamila_19jule@mail.ru*

Қогабай Ә.А. *Студент группы САД-22 Казахского автомобильно-дорожного института им. Л.Б. Гончарова, г. Алматы, Казахстан, E-mail:* Kogabaianel3@gmail.com

Заиров Д.З. *Студент группы САД-22 Казахского автомобильно-дорожного института им. Л.Б. Гончарова, г. Алматы, Казахстан, E-mail: ddddilyar@icloud.com*

Ысканбеков Д.Д. *Студент группы САД-22 Казахского автомобильно-дорожного института им. Л.Б. Гончарова, г. Алматы, Казахстан, E-mail: Yskanbekovdanial@gmail.com*

1. Введение

Надежность и долговечность автомобильных дорог во многом зависят от устойчивости земляного полотна, в частности откосов насыпей. В процессе эксплуатации дороги откосы подвергаются воздействию атмосферных осадков, ветровой и водной эрозии, температурных колебаний и динамических нагрузок от транспортных средств. Эти факторы приводят к разрушению грунтового массива, образованию оползней и размывов, что снижает срок службы дорожных сооружений.

Традиционные методы укрепления откосов включают применение каменной наброски, бетонных плит и растительного укрепления. Однако данные методы не всегда обеспечивают необходимую устойчивость конструкции и требуют значительных затрат. Откосы дорожных сооружений относятся к наиболее уязвимым элементам дорожной конструкции. Повышение эксплуатационной надёжности и срока службы автомобильных дорог во многом зависит от эффективности методов, применяемых для обеспечения устойчивости земляного полотна. (Kiyalbaev&Kiyalbaj,2023).

Появление подобных процессов может приводить к развитию опасных деформаций как внутри самой дорожной конструкции, так и на прилегающих участках. Даже незначительное первоначальное нарушение устойчивости откоса нередко становится пусковым механизмом для цепной реакции разрушений, охватывающих обочины, покрытие дороги, системы водоотведения и дренажа, а также близлежащие природные склоны. (Novik & Shibko,2014)

В последние годы при строительстве автомобильных дорог все более активно используются геосинтетические материалы. Они применяются для армирования грунта, обеспечения фильтрации и водоотвода, а также для разделения слоев, что способствует повышению устойчивости откосов и снижению их деформаций. (Zhang, 2024)

Цель данной работы заключается в определении эффективности использования геосинтетических материалов для продления срока службы откосов дорожных насыпей.

2. Материалы и методы

Надежность и длительный срок службы автомобильных дорог во многом зависят от обеспечения устойчивого состояния откосов насыпей. Устойчивость откоса характеризуется его способностью противостоять внешним природным и эксплуатационным воздействиям, сохраняя форму и целостность без развития оползневых процессов и существенных деформаций. Нарушение этой устойчивости может вызвать повреждение земляного полотна, деформации покрытия дороги и, как следствие, ухудшение условий безопасности движения (Coduto & Kitch, 2016).

Основными факторами, влияющими на устойчивость откосов насыпей, являются свойства грунтов, угол наклона откоса, уровень грунтовых вод, климатические условия и воздействие поверхностных вод. Существенную роль играют также технологические особенности строительства, степень уплотнения грунта и наличие дренажных систем. При неблагоприятном сочетании этих факторов возможно развитие эрозионных процессов, оползней и размывов откосов.(Fedorov&Kudryavtsev,2010)

Одним из основных условий обеспечения устойчивости откосов является правильный выбор их геометрических параметров, в первую очередь угла наклона. Чем круче откос, тем выше вероятность возникновения сдвиговых деформаций. Поэтому при проектировании дорожных насыпей угол откоса определяется с учетом физико-механических свойств грунта и гидрогеологических условий.

Укрепление откосов осуществляется с помощью различных методов, включая создание растительного покрытия, применение каменной наброски и бетонных плит. Всё более широкое распространение получают геосинтетические материалы — георешётки, геотекстиль, геоматы и геосетки. Их использование способствует повышению прочности грунта, уменьшению эрозии и продлению срока эксплуатации откосных сооружений (Dalmatov, 2001).

Таким образом, обеспечение устойчивости откосов насыпей является одной из ключевых задач дорожного строительства. Использование современных инженерных методов и армирующих материалов позволяет существенно укрепить земляное полотно и обеспечить безопасное функционирование автомобильных дорог.

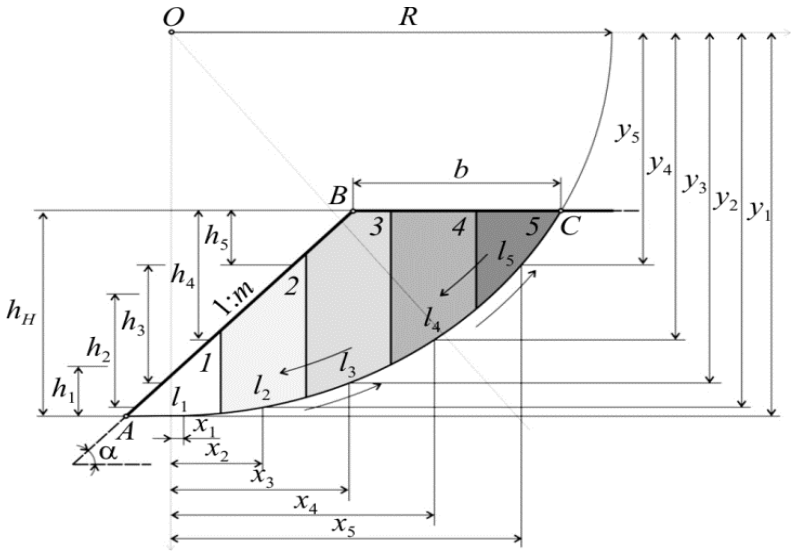


Рисунок 1. Расчетная схема по оценке устойчивости откоса по методу круглоцилиндрической поверхности скольжения (расчет второго типа с фиксированной поверхностью скольжения): $x_1...x_5$, $y_1....y_5$ – расстояния от осей до середины дуги расчетных блоков 1–5; $h_1...h_5$ – высота в середине расчетных блоков 1–5; h_H – высота поверхности скольжения; $l_1...l_5$ – длина дуг скольжения расчетных блоков 1–5; b – ширина оползающего массива насыпи; R – радиус круга поверхности скольжения АС; α – угол откоса при соответствующем коэффициенте заложения

С целью изучения устойчивости откосов насыпи применялись аналитические и расчетные методы.

В качестве расчетной модели рассматривалась насыпь высотой 6 м с уклоном откоса 1:1,5. В качестве грунта использовался суглинок со следующими характеристиками:

- плотность грунта — 1,9 т/м³

- угол внутреннего трения — 24°
- сцепление — 18 кПа

Расчет устойчивости откоса выполнялся методом предельного равновесия.
Рассматривались два варианта конструкции:

1. откос насыпи без армирования;
2. откос насыпи с применением геосинтетических материалов.

В качестве армирующих элементов использовались:

- георешетка для армирования грунтового массива;
- геотекстиль для фильтрации и разделения слоев грунта.

Георешетки укладывались в слоях насыпи через каждые 0,8–1,0 м по высоте.

Одним из наиболее распространенных является метод Терцаги-Феллениуса, заключается в том, что устойчивость запроектированного откоса определяется величиной коэффициента устойчивости, равного отношению моментов сил, удерживающих массив грунта, ограниченного откосом и предполагаемой, возможной поверхностью скольжения, к моментам сил, сдвигающих этот массив грунта (Lesov&Mirakhmedov,2019). Предполагается что, сдвиг и сползание массива обычно происходит по поверхности, близкой к цилиндрической форме круга, что хорошо согласуется с очертаниями фактически наблюдаемых поверхностей скольжения при разрушения откосов. Коэффициент устойчивости определяется по формуле:

$$K_{уст}=M_{уд}/M_{сдв} \quad (1)$$

где
$M_{уд}$ - момент сил удерживающих (сила трения и сцепления);
$M_{сдв}$ - момент сил сдвигающих, действующих по вероятной поверхности скольжения.

При оценке устойчивости дорожных насыпей основное внимание уделяют действию собственного веса грунта и конструкции дорожной одежды. Воздействие транспортных средств рассматривается как дополнительная нагрузка и, как правило, приводится к эквивалентной толщине слоя грунта (Kremnev&Glukhov,2011). Коэффициент устойчивости земляного полотна должен быть больше 1.

3. Результаты и обсуждение

Проведённые испытания подтвердили, что устойчивость откосов напрямую связана с применяемым способом армирования. Анализ полученных данных позволил выделить закономерности и определить наиболее эффективные материалы для различных условий эксплуатации. (Malyshev&Boldyrev,2004)

Георешетки проявляют себя лучше всего в регионах с высоким риском водной эрозии и неравномерными погодными условиями.

Геотекстили эффективны для районов с низким уровнем осадков и умеренными сезонными колебаниями температуры.

Таблица 1. Результаты расчета устойчивости откоса насыпи

Конструкция	Коэффициент устойчивости	Деформации откоса
Без армирования	1,18	Высокие
С применением гео-синтетических материалов	1,48–1,52	Снижены на 25–30 %

Расчёты показали, что внедрение геосинтетических материалов существенно улучшает прочностные характеристики откосов. Установлено, что коэффициент устойчивости увеличивается примерно на 25–30 %, что укладывается в нормы, принятые

для дорожного строительства (Maslov, 1982). Помимо этого, армирование грунта георешётками уменьшает вероятность возникновения оползней и ограничивает деформации.

4. Выводы

Проведённые исследования показали, что применение геосинтетики является эффективным решением в дорожном строительстве и при ремонте дорог. Использование георешёток позволяет усилить грунт за счёт его армирования и перераспределения нагрузок. Благодаря этому уменьшается риск сдвиговых деформаций и повышается устойчивость откосных конструкций.Геотекстиль обеспечивает функции фильтрации и отвода воды, препятствуя выносу мелкодисперсных частиц грунта и снижая риск развития эрозии.

Дополнительным преимуществом геосинтетических материалов является их длительных срок службы и стойкость к воздействию агрессивных факторов окружающей среды. Срок службы современных геосинтетиков может достигать 40–50 лет, что соответствует сроку эксплуатации автомобильных дорог.

Таким образом, применение геосинтетических материалов в строительстве способствует увеличению прочности и долговечности дорожных насыпей, а также позволяет снизить затраты на их эксплуатацию и ремонт.

Литература

1. Kiyalbaev A.K., Kiyalbaj S.N., Espaeva G.A., Madanbekov N.Zh. (2023) Teoreticheskie i eksperimental'nye metody transportnogo stroitel'stva. [Theoretical and experimental methods of transport construction]. Almaty-Bishkek, ADAL KITAP. 2023, 348. (in Russ.).
2. Novik A.N, Shibko A.A., Trepalin V.A. (2014) Stroitelnye materialy dlia transportnogo stroitelstva [Building materials for transport construction]. Saint-Petersburg: VAMTO, 348 p. (in Russ.).
3. Zhang, P. (2024). Study on slope stability analysis and reinforcement technology based on geosynthetics. *Academic Journal of Architecture and Geotechnical Engineering, 6*(1), 52–58. https://doi.org/10.25236/AJAGE.2024.060108
4. Coduto, D. P., Yeung, M. R., & Kitch, W. A. (2016). *Geotechnical engineering: Principles and practices* (3rd ed.). Pearson. https://doi.org/10.1201/9781315374984
5. Fedorov, V. N., & Kudryavtsev, S. A. (2010). *Geosinteticheskie materialy v dorozhnom stroitelstve* [Geosynthetic materials in road construction]. Transport.
6. Dalmatov, B. I. (2001). *Mekhanika gruntov. Osnovaniya i fundamenty* [Механика грунтов. Основания и фундаменты]. Stroyizdat SPb. (in Russ.).
7. Lesov, K. S., Mirakhmedov, M. M., & Tadzhibaev, Sh. A. (2019). Mirovoy opyt primeneniya geosinteticheskikh materialov v konstruktsiyakh zemlyanogo polotna. *Arkhitektura. Stroitel'stvo. Dizayn,* (2), 194–197.
8. Kremnev A.P., Glukhov D.O., Vishnyakov N.N.(2011) Opredeleniye naiboleye opasnoy poverkhnosti skol'zheniya pri raschete ustoychivosti otkosov metodom kruglotsilindricheskikh poverkhnostey skol'zheniya [Determination of the most dangerous slip surface in calculating slope stability by the method of circular cylindrical sliding surfaces] // Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Series F: Construction. Applied Science, pp. 37-41.
9. Malyshev M.V., Boldyrev G.G.(2004) Mekhanika gruntov. Osnovaniya i fundamenty [Soil mechanics. Bases and foun- dations]. Moscow, ASV, 328 p. (in Russ.).
10. Maslov N. N.(1982) Osnovy inzhenernoy geologii i mekhaniki gruntov [Fundamentals of engineering geology and soil mechanics]. Moscow, Vysshaya shkola, 511 p.

УДК: 625.853.3
МРНТИ: 67.09.33

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ СТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ДОБАВОК ДЛЯ ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА

[1]Бельгибаев Т.Е., [2]Аюп А.М., [3]Саржан Ә.М., [4]*Бектурсунова Г.С.

[1,2,3,4]Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б.Гончарова, г. Алматы, Казахстан
*Автор-корреспондент e-mail: kamila_19jule@mail.ru

Аннотация В данной статье рассматривается использование щебёночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА) в дорожном строительстве и анализируется роль стабилизирующих добавок, которые повышают эксплуатационные свойства покрытий данного типа. Особое внимание уделено классификации существующих стабилизаторов в зависимости от их состава и типа применяемых компонентов, что позволяет систематизировать материалы и выбрать оптимальный вариант для конкретных условий строительства. В работе подробно проанализированы свойства, технологические особенности и стоимость наиболее распространённых добавок как зарубежного, так и отечественного производства. Проведена сравнительная оценка их эффективности, с учётом расхода, прочности и влияния на долговечность дорожного покрытия. В ходе исследования выявлено, что добавка Topcel обладает наименьшим расходом благодаря высокому содержанию целлюлозных волокон, что обеспечивает эффективную стабилизацию битумного вяжущего и улучшает эксплуатационные характеристики ЩМА. Полученные данные могут служить практическим ориентиром при выборе стабилизирующих добавок для производства щебёночно-мастичных асфальтобетонных смесей, позволяя оптимизировать расходы, повысить долговечность покрытий и обеспечить более экономичное использование материалов при строительстве дорог.

Ключевые слова асфальтобетон, ЩМА, дорожное покрытие, стабилизирующая добавка, пластические деформации в асфальтобетоне, колееобразование.

Информация об авторах:

Бектурсунова Г.С. *Магистр технических наук, кафедра «Транспортное строительство и урбанистика», Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, г. Алматы, Республика Казахстан.ORCID ID: https://orcid.org/00009-0003-2635-4512 .*
E-mail: kamila_19jule@mail.ru

Бельгибаев Т.Е. *Студент группы САД-22 Казахского автомобильно-дорожного института им. Л.Б. Гончарова, г. Алматы, Казахстан, E-mail: Tima.festival@gmail.com*

Аюп А.М. *Студент группы САД-22 Казахского автомобильно-дорожного института им. Л.Б. Гончарова, г. Алматы, Казахстан, E-mail: ayupazat2003@gmail.com*

Саржан Ә.М. *Студент группы САД-22 Казахского автомобильно-дорожного института им. Л.Б. Гончарова, г. Алматы, Казахстан, E-mail: sarzhanali7@gmail.com*

1. Введение

Возросшие требования к качеству дорожных покрытий связаны с тем, что за относительно короткий период значительно увеличилась интенсивность движения, а также возросли осевые и скоростные нагрузки на дорожное полотно, сопровождающиеся повышенными давлениями и сдвиговыми воздействиями. В результате даже при соблюдении всех технологических требований строительства возможно преждевременное разрушение дорожных покрытий (Fomin & Hafizov, 2023).

Такие условия эксплуатации предъявляют повышенные требования к эксплуатационным характеристикам дорожных одежд. Повышение их надежности и

долговечности достигается за счет применения современных дорожно-строительных материалов и совершенствования технологий устройства покрытий.

При этом современные покрытия должны обладать повышенной устойчивостью к пластическим деформациям при высоких температурах, что позволяет предотвратить образование колеи и наплывов, а также достаточной эластичностью при пониженных температурах. Таким образом, для обеспечения надежной работы дорожных покрытий необходимо расширение температурного диапазона их эффективной эксплуатации(Nguyen & Tran, 2025).

В Казахстане, так и в других странах все большей популярностью пользуется щебеночно-мастичный асфальтобетон (ЩМА). Он был разработан в Германии в 1960-х годах и получил широкое применение как средство по борьбе с усиленным разрушением дорожных покрытий и колееобразованием вследствие увеличения автомобильного движения. В Казахстане щебеночно-мастичный асфальтобетон (ЩМА) начали внедрять в дорожное строительство в начале 2000-х годов. Это связано с распространением технологии в странах СНГ после её апробации в Европе и России. В начале 2000-х годов в Казахстане начали проводиться первые лабораторные и производственные исследования ЩМА в дорожных лабораториях и научных институтах. После положительных опытов, подтверждающих преимущества использования щебеночно-мастичный покрытий вместо традиционного асфальтобетона, с 2004 года действует *«Рекомендации по применению смесей щебеночно-мастичных асфальтобетонных»* (Р РК 218-36-2004), в котором прописаны наиболее практически применимые составы и технические требования к материалам, учитывая климатические условия и нормативно-техническую базу.

Щебеночно-мастичный асфальтобетон относится к каркасным асфальтобетонным смесям, в которых основной несущий элемент образован контактирующими зернами крупного щебня. Мастичная часть, состоящая из битума, минерального порошка и стабилизирующих добавок, заполняет пустоты между зернами и обеспечивает устойчивость структуры смеси. Такая структура обеспечивает высокую устойчивость покрытия к сдвиговым деформациям и интенсивным транспортным нагрузкам.

Щебеночно-мастичный асфальтобетон обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными асфальтобетонными смесями. В частности, для него характерна более низкая скорость накопления пластических деформаций, а также высокая способность к деформированию при отрицательных температурах, что способствует повышению трещиностойкости дорожных покрытий (Yang&Huang, 2025).

Кроме того, ЩМА отличается повышенной водо- и морозостойкостью, что обусловлено наличием свободного битума в структуре материала. Поверхность покрытия из щебеночно-мастичного асфальтобетона обладает более высокой шероховатостью — примерно в 1,5 раза выше по сравнению с асфальтобетонной смесью типа А (Lazarev &Novik,2013). Это обеспечивает улучшенное сцепление колес транспортных средств с дорожным покрытием и снижает вероятность возникновения аквапланирования.

Жесткая каркасная структура ЩМА способствует снижению образования колеи, поскольку нагрузка от транспортных средств передается через систему контактирующих зерен щебня в нижележащие слои дорожной одежды. Благодаря этому уменьшается деформация слоя. В то же время щебеночно-мастичный асфальтобетон обеспечивает высокие эксплуатационные свойства покрытия, включая прочность и долговечность. (Kiyalbaev & Kiyalbaj, 2023)

Щебеночно-мастичный асфальтобетон в отличии от других смесей, одновременно обеспечивает водонепрницаемость, устойчивость к сдвиговым нагрузкам и необходимую шероховатость верхнего слоя покрытия. Даже при остаточной пористости уплотненного слоя менее 1% сохраняются высокие показатели прочности и сцепных свойств поверхности. Особенности состава материала позволяет укладывать его тонкими слоями,

благодаря чему на единицу площади требуется меньшее количество смеси. (Morova & Özel, 2025), (Novik & Shibko,2014)

В настоящее время на рынке доступен широкий ассортимент стабилизирующих добавок как отечественного, так и зарубежного производства. Основные виды отдельных добавок приведены в таблице 1.

Таблица 1. Классификация стабилизирующих добавок

Основные компоненты		**Наименование добавки**	**Страна производителя**
Целлюлоза	гранулы из обработанных битумом целлюлозных волокон	Нанобит-СД	Казахстан
		Viatop	Германия
	гранулы из обработанных воском целлюлозных волокон	Topcel	Германия

В связи с широким разнообразием стабилизирующих добавок, отличающихся по химическому составу и форме выпуска, особую актуальность приобретает их сравнительный анализ. В данной статье рассматриваются наиболее распространенные в Казахстане стабилизирующие добавки, их основные характеристики и преимущества, что позволяет провести их сопоставительную оценку.

Целью настоящего исследования является выявление преимуществ различных стабилизирующих добавок, применяемых в щебеночно-мастичном асфальтобетоне, как с точки зрения их качественных показателей, так и экономической эффективности. Кроме того, в работе рассматривается возможность использования добавок отечественного производства в качестве альтернативы широко применяемым импортным аналогам без снижения качества асфальтобетонной смеси.

2. Материалы и методы

Для выполнения поставленных задач и проведения сравнительного анализа в качестве стабилизирующих добавок выбраны следующие добавки: Viatop 66, Viatop premium, Topcel, отечественного производства Нанобит-СД.

Одной из первых компаний разработавших стабилизирущие добавки была фирма J. Rettenmaier & Söhne на основе целлюлозных волокон для дорожного строительства. Промышленное производство гранулированных целлюлозных волокон, применяемых в асфальтобетонных смесях, было начато компанией в 1988 году. Одной из первых компаний, разработавших и внедривших в промышленное производство стабилизирующие добавки, стала немецкая фирма (Rasekh&Haldenbilen,2023).

Технические характеристики некоторых стабилизирующих добавок, применяемых в ЩМА, «Виатоп-66» (VIATOP 66) и «Виатоп-премиум» (VIATOP premium) представляют собой цилиндрические гранулы серого цвета без запаха. В соответствии с технической спецификацией VIATOP 66 - это гранулированная смесь, состоящая из целлюлозных волокон ARBOCEL ZZ 8-1 (66,6 %) и битума (33,4 %), а VIATOP premium - это гранулированная смесь, на 90 % состоящая из целлюлозных волокон ARBOCEL ZZ 8-1 и на 10 % из битума. Они нетоксичны, физиологически - и взрывобезопасных свойства показаны в таблице 2 и 3.

Таблица 2. Свойства гранулированной добавки VIATOP 66

Наименование показателя	**Значение**
1	2
Содержание ARBOCEL ZZ 8-1	65-70 %
Средняя длина гранулы	4-10 мм
Средняя толщина гранулы	5±1 мм
Объемная плотность	480-530 г/л

Наименование показателя	Значение
Термическое разрушение	200 °С
Температура возгорания	500 °С
Растворимость в воде (при 20 °С)	нерастворим
Базовый исходный материал	техническая целлюлоза
Содержание целлюлозы	70±75 %
Водородный показатель pH	7,5±1
Средняя длина волокон	1,1 мм
Средняя толщина волокон	45 мкм
Пенетрация битума при 25 °С Температура размягчения битума по КиШ	35-50* 1/10 мм 54-59 °С

Таблица 3. Свойства гранулированной добавки VIATOP premium

Наименование показателя	Значение
Содержание ARBOCEL ZZ 8-1	89-92 %
Средняя длина гранулы	2-8 мм
Средняя толщина гранулы	4±1 мм
Объемная плотность	470-540 г/л
Термическое разрушение	220 °С
Температура возгорания	500 °С
Растворимость в воде (при 20°С)	нерастворим
Базовый исходный материал	техническая целлюлоза
Содержание целлюлозы	85±90 %
Водородный показатель pH	7,5±1
Средняя длина волокон	1,1 мм
Средняя толщина волокон	45 мкм
Пенетрация битума при 25 °С Температура размягчения битума по КиШ	50-70* 1/10 мм 48-54 °С

Добавка выпускается в гранулированной форме, что облегчает её дозирование и равномерное введение в асфальтобетонную смесь в процессе приготовления. Рекомендуемый расход добавки, как правило, составляет около 0,3–0,5 % от массы минеральной части смеси, что соответствует требованиям к производству щебеночно-мастичного асфальтобетона. Волокна добавки Topcel равномерно распределяются в смеси и выполняют функцию удержания битумного вяжущего, предотвращая его стекание при транспортировании, хранении и укладке асфальтобетонной смеси (Gedik, 2023).

Использование данной добавки способствует повышению однородности смеси, улучшает сцепление между компонентами и обеспечивает более стабильную структуру минерального каркаса. Кроме того, применение стабилизирующей добавки Topcel позволяет повысить водостойкость, трещиностойкость и устойчивость покрытия к образованию колеи.

Topcel представляет собой спрессованные гранулы из волокон целлюлозы, которые не содержат битум, но включают от 10 до 15 % парафинов и характеризуются следующими показателями приведенными в таблице 4.

Таблица 4. Свойства гранулированной стабилизирующей добавки Topcel

Наименование показателя	Значение
Содержание целлюлозных волокон в гранулах	95±3%
Внешний вид	гранулы серого цвета
Остаток при сжигании	15%
Влажность	6%
Водородный показатель pH	7±1
Рекомендуемая дозировка	0,3-0,4%

4. Результаты и обсуждение

Процентное содержание целлюлозы в каждой добавке показаны на рисунке 1. Наиболее экономичным считается стабилизатор с максимальным содержанием целлюлозных волокон. Среди исследованных целлюлозных стабилизаторов наибольшая доля волокон наблюдается у добавки Topcel, а также значительное содержание целлюлозы характерно для Viatop и Viatop Premium.

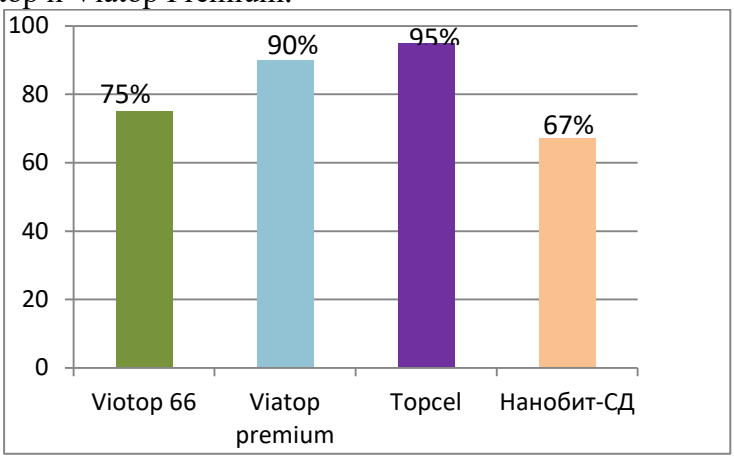


Рисунок 1. Процентное содержание целлюлозы в добавке

Данные позволяют сделать вывод, что содержание целлюлозы является ключевым фактором при выборе стабилизирующей добавки для ЩМА. Чем выше доля целлюлозных волокон, тем эффективнее добавка обеспечивает сдвигоустойчивость и водонепроницаемость смеси.

4. Выводы

Анализ данных, рисунка 1, показывает, что среди изученных целлюлозных стабилизаторов, наибольшая содержание волокон — 95% , наблюдается у добавки Topcel, что позволяет достигать минимального расхода материала при производстве щебёночно-мастичного асфальтобетона и обеспечивает высокую эффективность стабилизации битумного вяжущего. У добавки Viatop Premium, где доля волокон около 90%, что также обеспечивает хорошие эксплуатационные характеристики, однако её расход несколько выше по сравнению с Topcel. Viatop 66 содержит 75% целлюлозных волокон, а наименьшее их количество — 67% — у Нанобит-СД, что приводит к значительному увеличению расхода стабилизатора на тонну асфальтобетонной смеси. Таким образом, оптимальный выбор должен учитывать баланс между высоким содержанием целлюлозы, обеспечивающим эксплуатационные свойства покрытия, и является наиболее эффективным применения на практике. Такой подход позволяет одновременно повысить качество дорожного покрытия и снизить затраты на производство асфальтобетонной смеси, обеспечивая долгосрочную надежность и экономическую целесообразность строительства дорог.

Литература

1. Fomin, A. Y., Hafizov, E. R., Vdovin, E. A., & Fafanov, R. G. (2023). *Stone mastic asphalt modified with stabilizing additives of multifunctional action*. Magazine of Civil Engineering, 117(1), Article 11712. https://doi.org/10.34910/MCE.117.12
2. Nguyen Quang Phuc, Tran Thi Cam Ha, Luong Xuan Chieu, & Heng Wei Chaur. (2025). *Evaluation of selected properties of stone mastic asphalt (SMA) mixtures incorporating Viatop additive*. Transport and Communications Science Journal, 76(06), 902–915. https://doi.org/10.47869/tcsj.76.6.7

3. Yang, K., Huang, W., Sun, M., Zheng, Z., & Lin, H. (2025). *Effect of fiber characteristics on cracking resistance properties of stone mastic asphalt (SMA) mixture*. Polymers, 17(19), 2623. https://doi.org/10.3390/polym17192623
4. Morova, H. V., & Özel, C. (2025). *Experimental investigation of polymer-modified bituminous stone mastic asphalt mixtures containing cellulose acetate recycled from cigarette butts*. Materials, 18(23), 5340. https://doi.org/10.3390/ma18235340
5. Gedik, A. (2023). *Utilizing cellulose fibre in stone mastic asphalt*. Građevinar, 75, 775–784. https://doi.org/10.14256/JCE.3726.2023
6. Rasekh, M. A., Haldenbilen, S., & Zengin, D. (2023). *Investigation of usability of mineral fiber in stone mastic asphalt*. Revista de la Construcción, Journal of Construction. https://doi.org/10.7764/RDLC.22.3.569
7. Lazarev Y.G., Novik A.N., Shibko A.A. (2013). Stroitelstvo avtomobilnykh dorog i aerodromov [Construction of roads and airfields]. Saint- Petersburg: VAMTO, 528 p. (in Russ.).
8. Kiriukhin G.N., Smirnov E.A. (2009). Pokrytiia iz shchebenochno- mastichnogo asfaltobetona [Pavement of stone mastic asphalt]. Moscow: Elit, 176 p.(in Russ.).
9. Kiyalbaev A.K., Kiyalbaj S.N., Espaeva G.A., Madanbekov N.Zh. (2023) Teoreticheskie i eksperimental'nye metody transportnogo stroitel'stva. [Theoretical and experimental methods of transport construction]. Almaty-Bishkek, ADAL KITAP. 2023, 348. (in Russ.).
10. Novik A.N, Shibko A.A., Trepalin V.A.(2014). Stroitelnye materialy dlia transportnogo stroitelstva [Building materials for transport construction]. Saint-Petersburg: VAMTO, 348 p. (in Russ.).

УДК: 624.127
МРНТИ: 67.29.63

НОВЫЕ РЕШЕНИЯ ПО УСТРОЙСТВУ ПОДПОРНЫХ СТЕН ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПЕШЕХОДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

[1] Тулек Н.Ж., [2]Жәутікбай Н.Н., [3]Қызырхан А.А., [4]Нургияс А.Е., *[5]Белов А.Г.

1,2,3,4,5 Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан
*Автор-корреспондент e-mail: belov_aleksei@mail.ru

Аннотация

В статье рассматривается проблема строительства подпорных стен в горных условиях, для устройства пандусов маломобильными группами населения, на примере строительства пешеходного моста в Ерментауском районе Акмолинской области. Определена необходимость устройства пандусов, при возведении пешеходного моста и лестничных маршей в общественных местах, и обоснована нормативными документами. Показан способ устройства пандусов, в местности со сложным рельефом местности. Исследованы несколько вариантов устройства подпорных стен, рассмотрены положительные и отрицательные стороны использованных жёстких подпорных стен с натяжными анкерами, со стороны проектирования, строительства и эксплуатации. Изучены возможности возведения 3-х вариантов подпорных стен, стоимость материалов конструкций и проведения земляных работ. Кроме этого рассмотрены меры безопасности при возведении конструкций на крутых склонах. Проведен сравнительный анализ стоимости различных типов подпорных стен. Установлено, что применение жёстких подпорных стен с устройством натяжных анкеров типа «Атлант» являются наиболее экономичными. Возможность применения предложенной конструкции с анкерами «Атлант» обосновано расчётами по двум группам предельных состояний. Полученные результаты подтверждают целесообразность массового внедрения предложенных решений подпорных стен, в различных природных условиях.

Ключевые слова Подпорные стены, пандусы, натяжные анкера, откосы.

Информация об авторах:

Тулек Н.Ж. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Жәутікбай Н.Н. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Макарян С.М. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Нургияс А.Е. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Белов А.Г. *К.т.н., ассоциированный профессор КазАДИ, Казахский автомобильнодорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: belov_aleksei@mail.ru*

1. Введение

Строительство, в сложных городских и горных условиях, транспортных сооружений, является актуальной проблемой, т.к. чаще всего при невозможности использования типовых проектов, приходится принимать не стандартные решения. Основываясь на методике проектирования приведённой в статье, показан научный подход подбора конструкций подпорных стен (ПС) для условий горной местности, к которым относятся сложные горный условия, высокие насыпи автомобильных и железных дорог, террасы и др.

Цель работы показать методику конструирования и строительства ПС, их модернизация и расчёт изменённых конструкций.

Объектом исследования является ПС, в сложных горных условиях, запроектированные для устройства пандусов, в составе разработки проектно-сметной документации строительства пешеходного моста, на автомобильной дороге в Ерментауском районе, на туристической площадке рядом с обелиском Богенбай батыру. Площадки отдыха размещены на прилегающей к автомобильной дороге территории. Зоны отдыха будут объединены между собой пешеходным мостом, запроектированным под современные нагрузки.

Научная новизна - применение железобетонных ПС, на крутых откосах, с устройством натяжных анкеров.

2. Материалы и методы

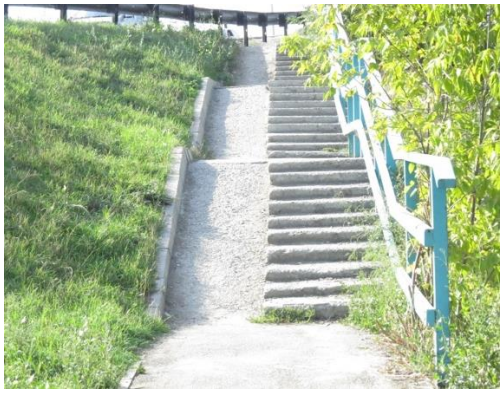
Работа основана, на результатах проектирования пешеходного моста в составе площадки отдыха на 149 км автомобильной дороги Р-4 "Нур-Султан-Ерейментау-Шидерты", разработанный ТОО «НИИ ТК». Пешеходный мост и площадки отдыха запроектированы для туристического развития Ерментуского региона, рядом с обелиском Богенбай батыру [1], эскиз сооружения приведен на рисунке 1.



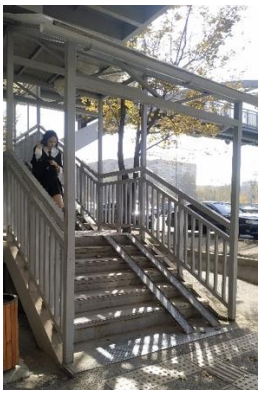
Рисунок 1. Эскиз пешеходного моста и зон отдыха, в зоне установки обелиска Богенбай батыра, разработка ТОО «НИИ ТК»

 ISBN 978-601-08-5209-9

Пешеходный мост и лестничные сходы, запроектированы под современные требования, в соответствии с [2] и ГОСТ 32944-2014 [3].. Сложностью работы явилось устройство пандусов, на крутых откосах. Пандусы используют на велодорожках и на тротуарах для «маломобильных групп населения», к ним относятся инвалиды в колясках, инвалиды по зрению, женщины с детьми и колясками, пожилые люди и др. В стеснённых условиях пандусы объединяют с лестничными маршами, см. рисунок 2а и 2б, часто с нарушением нормативного уклона пандуса, и на такой пандус многие маломобильные граждане, подняться не могут.



а) на подходе к мосту п.Отеген батыра



б) пешеходный мост в г.Алматы

Рисунок 2. Лестничные марши с пандусом, с ненормативным уклоном

Основным требованием по устройству пандуса, является устройство максимального уклона 1:10 (10% или 100‰), т.е. на 1,0м высоты длина пандуса составляет 10,0м [4]. Что обеспечивает лёгкий подъём и безопасный спуск, при затяжном подъёме, максимум через 10,0м необходимо размещение разворотной площадки.

В соответствии с архитектурными решениями от моста идут лестничные марши для пешеходов, см. рисунок 2., но пандусы параллельно лестничным сходам построить не возможно, т.к. уклон лестничных сходов очень крутой - 57% (570‰). В таком случае рациональным решением является развитие пандусов в виде «резьбы винта» [5], слева и с права от лестничных маршей, что показано на рисунке 3.

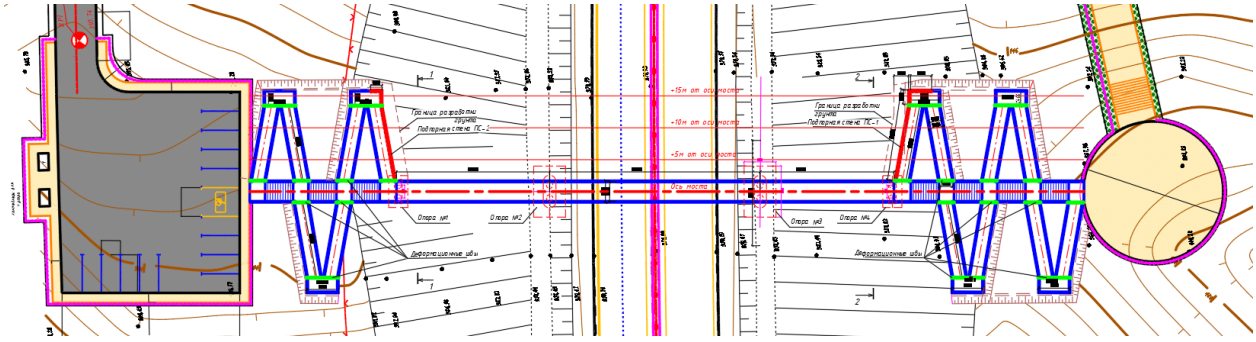


Рисунок 3. План пешеходного моста, с пандусами в виде «резьбы винта»

Развитие пандусов слева и с права от лестничных маршей, имеет ряд трудностей: 1) крутой уклон склона 1:1,75 (57%) и 2) очень прочные скальные породы - мрамор, для разработки грунта - 7 группы сложности, применяют отбойные молотки и буровзрывное оборудование. При таком прочном грунтовом основании рациональным решением является устройство классической железобетонной ПС на естественном основании, см. рисунок 4а [6]. Для монтажа ПС в монолитном исполнении, необходима площадка шириной минимум 7,0м которую необходимо выдолбить и выровнять в мраморе, что является большим

 ISBN 978-601-08-5209-9

объёмом работ. С другой стороны, крутой откос насыпи, не позволяет отсыпать насыпь земляного полотна, для устройства пандуса.

Альтернативой этого решения предложено устройство ПС из габионов, с креплением анкерами в скальную породу, см. рисунок 4б [7]. Габионы – металлические сетчатые ящики размером 0,6х0,6х3,0м, устанавливают друг на друга, по принципу кирпичной кладки. Сетка габионов выполнена из оцинкованной стали, имеющей высокий уровень защиты от коррозии. Заполнение ящиков производят камнями различных фракций вручную по методу заклинки. Для обеспечения устойчивости габионной ПС необходимо выровнять основание и её закрепить к коренным породам, что и предложено выполнить с помощью стальных анкеров диаметром 42мм и длинной 6,0м, по 4-ре анкера на погонный метр ПС.

а) б)

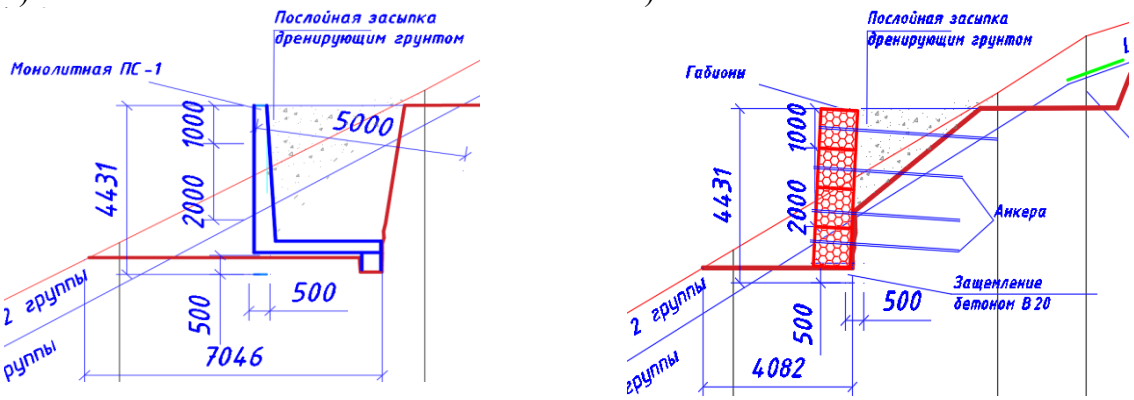


Рисунок 4. а) Классическая железобетонная ПС из монолитного бетона; б) ПС из габионов с укреплением анкерами.

3. Результаты

В строительстве существует закон – сокращение сроков строительства не должно влиять на качество производства работ, и эти вопросы должны решаться в составе разработки проектно-сметной документации. Не исключением является и проект пешеходного моста, с устройством ПС для пандусов. Сравнивая решения приведённые на рисунке 5а и 5б, найдено универсальное решение, в котором сочетаются элементы обоих решений – тонкая подпорная стенка, с креплением анкерами диаметром 42мм и длинной 6,0м, по 2-е штуки на погонный метр, в скальную породу, см. рисунок 5.

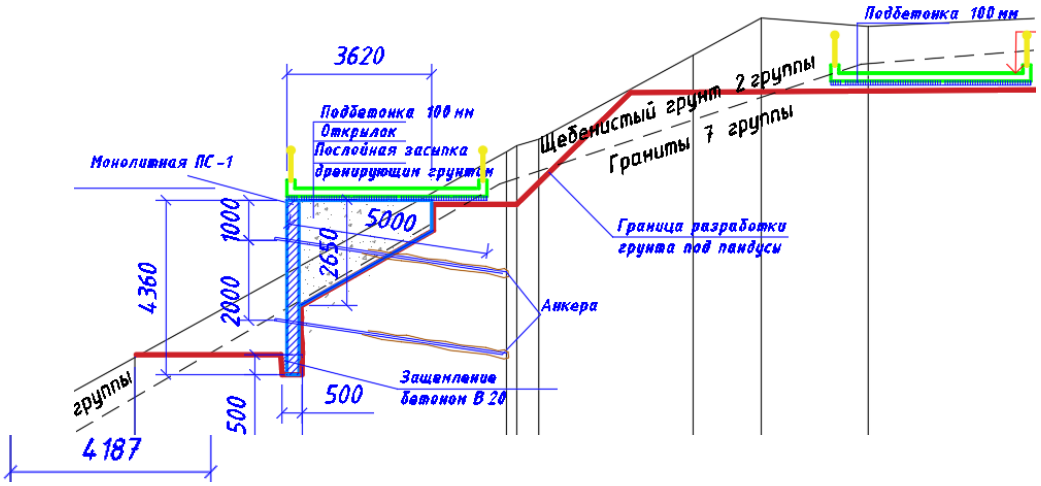


Рисунок 5. Железобетонная ПС из монолитного бетона на анкерных тягах «Атлант»

Для ускорения строительства, принято решение изготовить тонкую ПС на месте: длинной 14,0м, высотой 4,3м и толщиной 0,3м, что снизит стоимость строительно-

монтажных работ, сократит объём буровзрывных работ и уменьшит объём погрузочно-разгрузочных работ [8].. Обеспечив ограждение места работ перильными ограждениями, что является особенностью работ на склонах.

Расчёт выполнен, специалистами ТОО «АзияГеоЦентр», расчётная схема приведена на рисунке 6, с применением современного программного комплекса «Malinin», в соответствии с расчётами удерживающая способность одного анкера составляет - 16,95кН (1,73т), всего на подпорную стену - 16 анкеров длинной 6,0м. При расчёте использован метод Феллениуса, для определения способ оценки устойчивости откосов из группы методов предельного равновесия [9] и [10].. Потенциальная поверхность скольжения принимается в форме дуги окружности. Оползающий грунтовый массив разделяется вертикальными сечениями на отсеки, для каждого из которых анализируются действующие силы. В качестве расчётной нагрузки принята нагрузка от малой эксплуатационной техники - 1,5т/м2.

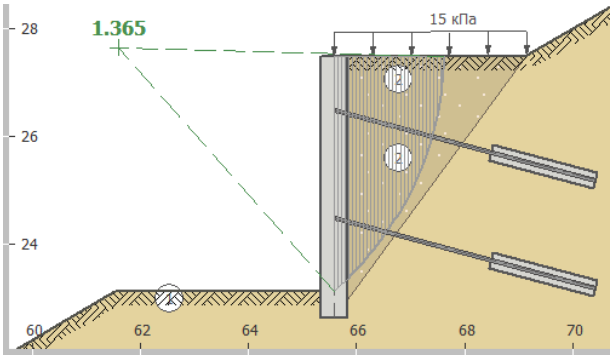


Рисунок 6. Расчётная модель ПС в программном комплекса «Malinin», ТОО «АзияГеоЦентр».

4. Выводы

Применение железобетонных ПС, на крутых горных откосах или откосах дорог, с устройством натяжных анкеров, является практически полезным решением, применение которого не уступает по надёжности классическим ПС, и имеет преимущество - возведение на крутых откосах с ограниченной монтажной площадкой.

Литература

1. 1., Рабочие чертежи «Строительство пешеходного моста в составе площадки отдыха на 149 км автомобильной дороги Р-4 "Нур-Султан-Ерейментау-Шидерты", Алматы, ТОО «НИИ ТК», 2023, 52с.
2. СП РК 3.03-112-2013 «Мосты и трубы», Астана, АО «КазНИИСА», 2015г, 355с.
3. ГОСТ 32944-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Пешеходные переходы. Классификация. Общие требования, М., 2015, 16с.
4. СП РК 3.06-101-2012 «Проектирование зданий и сооружений с учетом доступности для маломобильных групп населения. общие положения», Астана, АО «КазНИИСА», 2015, 77с.
5. Kazachkova O.A., Boyko Yu.A, Zuikova G.A, Eremkina N.I. (2020) Accessibility of the Urban Environment: Design of Ramps. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering 9(5):2067-2069, https://DOI: 10.35940/ijitee.E3306.039520
6. Ahmed Rouili, (2013) On the design of L-shaped retaining Walls, World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Civil Science and Engineering Vol:7 No:12,

2013,https://www.researchgate.net/publication/259217120_On_the_design_of_L-shaped_retaining_Walls
7. Abbas J. Al-Taie, Mahmood D. Ahmed (2024) Different Design Aspects of L-Shaped Earth Retaining Structures, BIO Web of Conferences 97, 00101 (2024) https://doi.org/10.1051/bioconf/20249700101
8. Abbas J. Al-Taie, Mahmood D. Ahmed (2025), Selection Considerations and Classification Bases of Earth Retaining Systems, https://doi.org/10.17576/jkukm-2025-37(2)-11
9. Ozgur L. Ertugrul, Aurelian C. Trandafir, (2012), Reduction of Lateral Earth Forces on Yielding Flexible Retaining Walls by EPS Geofoam Inclusions GeoCongress 2012: State of the Art and Practice in Geotechnical Engineering, https://doi.org/10.1061/9780784412121.212
10. Aylin Ece Kayabekir1 Zulal Akbay Arama1 Gebrail Bekdas1 Ilknur Dalyan,(2020), Effects of Soil Geotechnical Properties on thePrediction of Optimal Dimensions of Restricted Reinforced Concrete Retaining Walls, Hittite Journal of Science and Engineering, 2020, 7 (3) 205-213, (DOI: 10.17350/HJSE19030000190

УДК: 624.01
МРНТИ: 67.03.03

ОБОСНОВАНИЕ И УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ИСПАРИТЕЛЬНЫХ БАССЕЙНОВ ВЗАМЕН ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ

[1]Кадырбергенов Р.С., [2]Куевбаев Р.С., [3]Макарян С.М., [4]Молдашев К.А., *[5]Белов А.Г.

1,2,3,4,5 Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан
*Автор-корреспондент e-mail: below_aleksei@mail.ru

Аннотация Экономия расходов при строительстве водопропускных труб, в последнее время практически не изучают современные инженеры. Малые искусственные сооружения, являются самыми распространенными искусственными сооружениями в транспортном строительстве. Основой работы является отказ от водопропускных труб, на участках с малыми водосборными бассейнами, на основе гидрологических, геодезических и геологических инженерных изысканий, и обоснованного расчёта конструкций, для устройства испарительных бассейнов. Кроме изысканий работа основывается на анализе гидрометеорологических данных, полученных из нормативной документации и базы данных РГП «Казгидромет». Использование гидрологических характеристик водосборных бассейнов выявило возможность устройства испарительных бассейнов в Туркестанской области, на глинистых грунтах. В процессе работы определены основные геометрические размеры испарительных бассейнов. От глубины и площади зависит испаряемость и фильтрация воды, и эти факторы можно контролировать за счёт увеличения глубины испарительных бассейнов, уменьшения площади открытого водоёма и устройства не фильтрующих стен. Применение испарительных бассейнов ведёт к снижению стоимости строительства дорог и сосредоточению водных ресурсов, с возможным использованием этих ресурсов для полива территории или разведения рыбы.

Ключевые слова Водопропускные трубы, испарительный бассейн, расход воды, искусственные сооружения, водосборный бассейн,

Информация об авторах:
1Кадырбергенов Р.С. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б.Гончарова, Алматы, Казахстан*
Куевбаев Р.С. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б.Гончарова, Алматы, Казахстан*
Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова,

Макарян С.М. *Алматы, Казахстан*
Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б.Гончарова, Алматы,
Молдашев К.А. *Казахстан*
К.т.н., ассоциированный профессор КазАДИ, Казахский автомобильнодорожный
Белов А.Г. *институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: below_aleksei@mail.ru*

1. Введение

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы, формулируется научная проблема, определяется цель и задачи исследования, а также кратко обозначается объект и предмет исследования. В данном разделе необходимо показать степень разработанности темы и научную новизну работы.

Актуальность - экономия ресурсов на строительстве водопропускных труб и создание сосредоточенных резервуаров с водой различного назначения.

Цель - доказать возможность замены водопропускных труб под автомобильными дорогами на испарительные бассейны.

Задачи - изучение инженерных изысканий, гидрологических и гидрометеорологических данных для возможности устройства испарительных бассейнов.

Объект - система водоотведения на строительстве развязки на 756км автомобильной дороги «Хоргос-Алматы-Тараз-Шымкент-Ташкент» в Туркестанской области.

Научная новизна - внедрение испарительных бассейнов, геометрических размеров необходимых для Заказчика, с возможностью контролировать испарение и фильтрацию воды.

2. Материалы и методы

Работа выполнена на основе рабочей документации строительства развязки на 756км автомобильной дороги «Хоргос-Алматы-Тараз-Шымкент-Ташкент» в Туркестанской области, разработчик проекта ТОО «Алматы жоба» [1]. План проектируемой развязки показан на рисунке 1. В процессе проектирования развязки предложено строительство 10 водопропускных труб разного сечения, на действующих водотоках и низких местах, из которых 4-ре водопропускные трубы ∅1,0м имеют маленькие бассейны водосбора. Для определения целесообразности строительства 4-х труб использован [2] и [6]. На основе плана развязки и геодезической съёмки, определены площади водосбросных бассейнов F, км2, см. таблицу 1.

Таблица 1. Площадь водосбросных бассейнов F, км2, для 4-х труб

№ пп	Наименование	Площадь водосброса, км2
1	Труба №1	0,0044
2	Труба №2	0,0027
3	Труба №3	0,0097
4	Труба №4	0,0066

Сводные результаты расчёта гидрологических характеристик водосборных бассейнов, для 4-х труб приведены в таблице 2.

Объем дождевого стока с малых водосборов с площадью бассейна до 30 км^2 определяется по формуле:

$$W = 1000\, a_p\, \alpha_p \cdot F \cdot t_ф \text{ м}^3 = 1000*1{,}96* \quad (1)$$

где: 1000 - коэффициент, учитывающий размерности параметров, входящих в формулу (1);

a_p - расчетная интенсивность осадков, мм/мин. Определяется по формуле (2);

α_p - расчетный коэффициент склонового стока, определяемый по формуле (3);

F - водосборная площадь, км^2;

 ISBN 978-601-08-5209-9

$t_ф$ = 14 - расчетная продолжительность осадков, формирующих максимальную ординату гидрографа, мин. Определяется по данным табл. 10 [2].

$$a_р = a_{час} \cdot K_t \text{ мм/мин.} = 0{,}89*2{,}2 = 1{,}96 \quad (2)$$

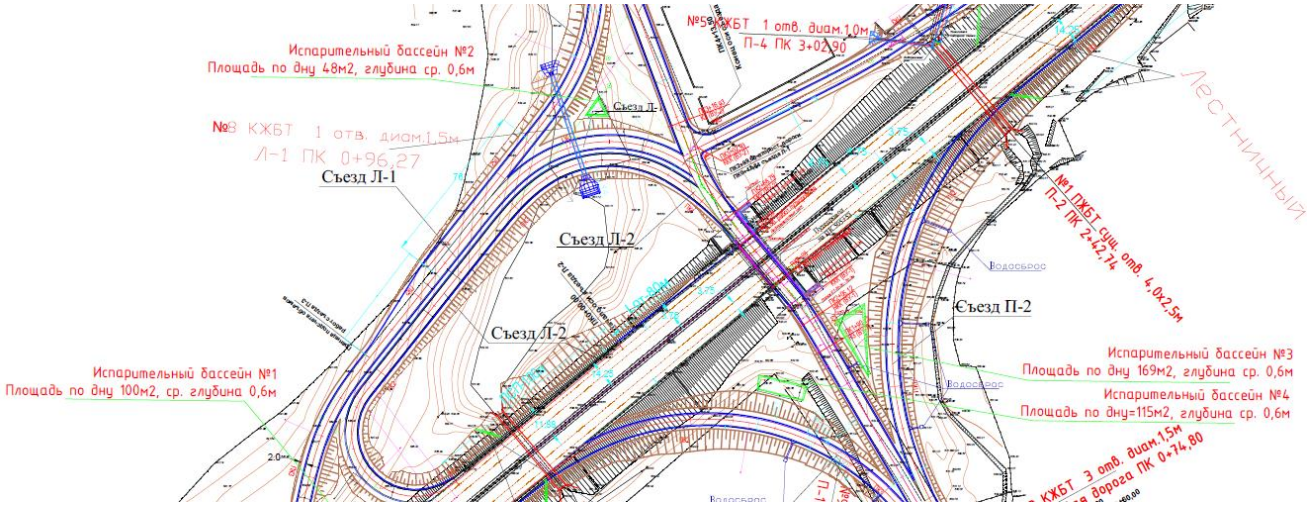


Рисунок 1. План запроектированной развязки на 756км автомобильной дороги «Хоргос-Алматы-Тараз-Шымкент-Ташкент» в Туркестанской области, разработчик ТОО «Алматы жоба». На плане указаны место расположения 4-ре испарительных бассейна, Испарительные бассейны приняты различных форм, в соответствии с условиями местности.

Таблица 2. Сводный расчет гидрологических характеристик водосборных бассейнов, для 4-х труб с применением максимальных коэффициентов

№ труб	F, км2	L,км	Отм низ	Отм верх	I, ‰	φ	F / L	Ф	С	Кф	$П$	β	γ_q	δ_e	d_0	$d_р$	$a_р$	$a_{час}$	K_t	Ку без р.	Ку с р.	$Q_р$	$Q_р$
1	0.0044	0.015	636.6	638.66	137.3	0.7	0.29	0.7	0.1	0.73	1	1.1	0.04	0.956	0.4	0.3824	1.958	0.89	2.2	0.82	0.97	0.02305	0.02727
2	0.0027	0.026	631.73	635.05	127.7	0.7	0.10	0.7	0.1	0.73	1	1.1	0.04	0.956	0.4	0.3824	1.958	0.89	2.2	0.82	0.97	0.01415	0.01673
3	0.0097	0.023	632.86	633.71	37.0	0.7	0.42	0.7	0.1	0.73	1	1.1	0.04	0.956	0.4	0.3824	1.958	0.89	2.2	0.82	0.97	0.05082	0.06012
4	0.0066	0.023	631.6	633.41	78.7	0.7	0.29	0.7	0.1	0.73	1	1.1	0.04	0.956	0.4	0.3824	1.958	0.89	2.2	0.82	0.97	0.03458	0.04091

K_t - 2,2 - коэффициент редукции часовой интенсивности осадков в зависимости от времени формирования максимальных расходов на малых водосборах. Определяется по табл. 2 [2].

Расчетный коэффициент склонового стока определяется по формуле:

$$\alpha_р = \alpha_0 \cdot \delta_e = 0{,}4 \quad (3)$$

где: α_0 - 0,40 - 0,30 - коэффициент склонового стока при полном насыщении почв водой, принимаемый по табл. 3[2];

δ_e - коэффициент, учитывающий естественную аккумуляцию дождевого стока на поверхности водосборов в зависимости от различной залесенности и почво-грунтов. Определяется по формулам (4, 5, 7) [2].

Величина коэффициента δ_e на водосборах, площадь которых характеризуется сплошной залесенностью или однородными грунтами по всему бассейну определяется по формуле:

$$\delta_e = 1 - \gamma_д \beta П = 1 - 0{,}04*1{,}1*1 = 0{,}956 \quad (4)$$

где: $\gamma_д$ - 0,04 - 0,09 - коэффициент, учитывающий различную проницаемость почво-грунтов на склонах водосборов, в расчетных условиях и определяемый по табл. 6 [2];

β - 1,10 - 1,15 - коэффициент, учитывающий состояние почво-грунтов к началу формирования расчетного паводка, определяемый по табл. 7 [2].

П - 1,0 - поправочный коэффициент на редукцию проницаемости почво-грунтов с увеличением площади водосборов. Определяется по табл. 9 [2].

Для расчета объёма выработки грунта испарительных бассейнов, принята средняя глубина 0,6м по рисунку 2, как наиболее благоприятная для испарения, по [3].

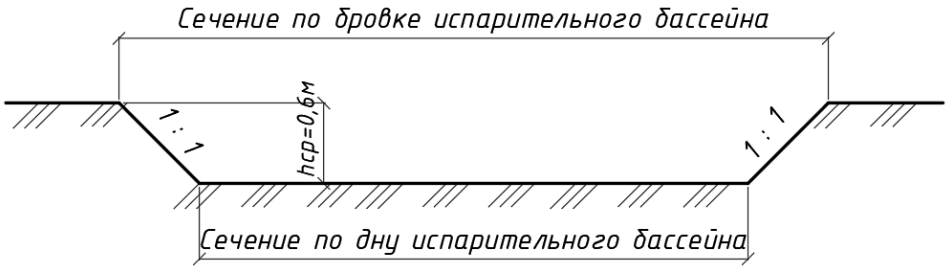


Рисунок 2. Сечение и глубина испарительных бассейнов

Таблица 3. Основные результаты расчета площади испарительных бассейнов

№ пп	Наименование	Площадь водосброса, км2	Площадь испарительного бассейна по дну, м2	Площадь испарительного бассейна по бровке, м2	Разработка грунта экскаватором, м3
1	Испарительный бассейн №1	0,0044	76,8	98,4	56,0
2	Испарительный бассейн №2	0,0027	47,2	60,0	35,6
3	Испарительный бассейн №3	0,0097	169,5	209,0	113,6
4	Испарительный бассейн №4	0,0066	115,3	136,0	76,0

Объём испарения, для Туркестанской области рассчитывается по [4], основываясь на данных РГП «Казгидромет».

Величина объёма испарения с поверхности испарительного бассейна за сутки

$$E=0{,}001e_c t\Omega = 0{,}001*4{,}86*4*76{,}8 = 1{,}49 \text{ м3} \quad (5)$$

t – 4 суток - средняя продолжительность периода без дождей, сут.

Ω - площадь поверхности испарительного бассейна, м2

Общее количество осадков, которое может испариться за сутки

$$e_c = 0{,}55(1+0{,}12\omega_в)d^{0.8} = 0{,}55*(1+0{,}12*25)*2{,}7^{0.8} = 0{,}55*(1+3)*2{,}21 = 4{,}86\text{мм} \quad (6)$$

Дефицит влажности воздуха

$$d= e_{нас} - e_в = 8{,}7\text{-}6 = 2{,}7 \text{ гПа} \quad (7)$$

$e_{нас}$ – 8.7 гПа - упругость водяных паров, насыщающих воздух при среднемесячной температуре 5,7°С для марта месяца;

$e_в$ - 4 гПа упругость водяных паров по данным РГП Казгидромет.

Общее количество осадков, которое может испариться за месяц

$$e_м = 30*0{,}55(1+0{,}12\omega_в)d^{0.8} =30*0{,}55*(1+3)*2{,}21 = 146\text{мм}, \quad (8)$$

т.е. глубина испарительного бассейна необходимо принимать не менее 600мм, по рисунку 2.

30 – число дней

$\omega_в$ – 25м/сек – базовая скорость ветра по [5];

При погодных условиях наиболее дождливого месяца - марта, полное испарение накопившегося испарительного бассейна составит 31 сутки, сводный расчет приведен в таблице 3.

Таблица 3. Размеры испарительного бассейна глубиной 600мм, в соответсвии с расчётной схемой, рисунок 2.

Испарительный бассейн, №	Площадь водосброса, F, км 2	Объём дождевого стокаW, м3	Площадь испарит. бассейна, м2	Испарения в сутки, м3	Испарение, сут
1	0,0044	46,12	76,87	1,49	30,86
2	0,0027	28,30	47,17	0,92	30,86
3	0,0097	101,68	169,46	3,29	30,86
4	0,0066	69,18	115,31	2,24	30,86

4. Результаты

В данной работе проведены гидрологические исследования для определения возможности устройства испарительных бассейнов, взамен водопропускных труб. И это подтверждено расчётным путём частично основываясь на работы [7] и [8]. Все природные показатели использованы нормативные по [9].

Результаты расчетов расхода воды и площади водосброса подтвердили показатели для устройства испарительных бассейнов взамен 4-х водопропускных труб, что снизило затраты строительства на 220 млн. тенге, в ценах 2026г. Рассмотрены различные площади испарительных бассейнов для расчета объёма выработки грунта, принята средняя глубина 0,6м, как наиболее благоприятная для испарения, по [2]. Размеры испарительных бассейнов подобраны для испарения скопившегося объёма воды, приблизительно в течении 30 дней.

Для южных регионов применение испарительных бассейнов имеет практическую значимость. Особенностью проектирования испарительных бассейнов является их грунтовое основание, песчаный или супесчаный грунт может быть фильтром для протекания воды испарительного бассейна, а глинистый грунт может быть барьером для фильтрации. И превратиться в сосредоточенный накопитель воды [10].

6. Выводы

В работе доказана возможность устройства испарительных бассейнов, на примере строительства развязки в Туркестанской области. Подобраны оптимальные размеры испарительных бассейнов для разного расхода воды. Работа выполнена с учётом экономии затрат на строительство 4-х водопропускных труб. Рассмотрена возможность использования водных ресурсов, для сбора воды для полива территории или разведения рыбы. Но есть и другая сторона этой работы - влияние на животный мир. Многие дикие животные прокладывают свои тропы по низинам. На пересечении с низиной проходит дорога, и в случае отсутствия прохода под насыпью животное выбирается на дорогу, что может привести к его гибели. В дальнейшем, с учётом экологических факторов будем рассматривать строительство биопереходов, для животных и насекомых.

Литература

1. Рабочий проект «Строительства развязки на км 756 автомобильной дороги «Хоргос-Алматы-Тараз-Шымкент-Ташкент» в Туркестанской области» (2024), разработчик проекта ТОО «Алматы жоба».

2. «Указаниям по расчету дождевых расходов», министерство транспортного строительства (1973), Главтранспроект, ГПИ СОЮЗДОРПРОЕКТ, МОСКВА 1973, - 20с;
3. В.А. Большаков (1965), Гидротехнические сооружения на автомобильных дорогах, М., Транспорт, 1965, - 320с;
4. Гидрологическая база данных https://meteo.kazhydromet.kz/database_hydro/
5. НТП РК 01-01-3.1 (4.1)-2017 «Нагрузки и воздействия на здания Часть 1-3. Снеговые нагрузки (к СП РК EN 1991-1-3:2003/2011) Часть 1-4. Ветровые воздействия (к СП РК EN 1991-1-4:2003/2011) (2017), Астана, АО «КазНИИСА», 131с.
6. МСП 3.04-101-2005 (2005) «Определение основных расчетных гидрологических характеристик», 88стр.
7. Claude E. Boyd (1985). Pond Evaporation. Transactions of the American Fisheries Society 114(2):299-303, DOI:10.1577/1548-8659(1985)114<299:PE>2.0.CO;2
8. M. Ahmed, W.H. Shayya, D. Hoey, A. Mahendran, R. Morris, J. Al-Handaly (2000) Use of evaporation ponds for brine disposal in desalination plants. Desalination, https://doi.org/10.1016/S0011-9164(00)00083-7
9. N. Rodríguez-Córdova, C. Sarmiento-Laurel, H. Estay, M. Behzad (2025) Transient transport phenomena in lithium-rich solar evaporation ponds: A case study in the Atacama Salt Flat, Energy Conversion and Management, https://doi.org/10.1016/j.enconman.2025.119873
10. K Sriyaraj, R.B.E Shutes (2001) An assessment of the impact of motorway runoff on a pond, wetland and stream, Environment International, https://doi.org/10.1016/S0160-4120(01)00024-1Get rights and content.

УДК 622.691.4: 332.1 (470.53)

РАБОТЫ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ И МОНТАЖУ СИСТЕМЫ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ В СЕЛАХ КАЗАХСТАНА

[1]Кажанов Б.А., [2]Зарипова И.Т., [3]Жикеев А.Т., *[4]Бондарь И.С.

[1,2,3,4]Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б.Гончарова (КазАДИ), 050061, Алматы, Казахстан;

Аннотация	В статье рассматриваются инженерно-технологические особенности строительства и монтажа систем газоснабжения в сельских населённых пунктах Республики Казахстан. Проведен анализ факторов, влияющих на эффективность реализации проектов газификации, включая протяжённость сетей, выбор конструктивных решений и технологий прокладки. Особое внимание уделено вопросам надежности трубопроводов, контролю качества сварных соединений и оценке напряженно-деформированного состояния газопроводов. Установлено, что применение полиэтиленовых труб и адаптивных схем газораспределения позволяет снизить капитальные затраты и повысить долговечность систем. Полученные результаты формируют основу для оптимизации проектных решений и организации строительно-монтажных работ в условиях сельской местности.
Ключевые слова	*Газоснабжение, газификация, сельские территории, полиэтиленовые трубы, сварные соединения, ГРП, Казахстан, монтаж газопроводов*
Кажанов Б.А.	***Информация об авторах:*** *Студент 4-го курса, обучающийся по образовательной программе 6B07313 - «Строительство газонефтепроводов и газонефтехранилищ», Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б.Гончарова (КазАДИ), Алматы, Казахстан; E-mail: bekakazhanov@gmail.com*
Зарипова И.Т.	*Студент 4-го курса, обучающийся по образовательной программе 6B07313 - «Строительство газонефтепроводов и газонефтехранилищ», Казахский*

	автомобильно-дорожный институт имени Л.Б.Гончарова (КазАДИ), Алматы, Казахстан; E-mail: bekakazhanov@gmail.com
Жикеев А.Т.	*Студент 4-го курса, обучающийся по образовательной программе 6В07313 - «Строительство газонефтепроводов и газонефтехранилищ», Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б.Гончарова (КазАДИ), Алматы, Казахстан; E-mail: bekakazhanov@gmail.com*
Бондарь И.С.	*Автор-корреспондент, Кандидат технических наук ВАК РФ, Ph. D МОН РК, ассоциированный профессор (доцент) МНиВО РК, профессор кафедры «Транспортное строительство и урбанистика», Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова (КазАДИ), г. Алматы, Республика Казахстан, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-7376-5643, E-mail: ivan_sergeevich_08@mail.ru.*

1.Введение

Газификация сельских населённых пунктов Республики Казахстан рассматривается как один из ключевых инструментов повышения качества жизни населения и обеспечения энергетической устойчивости регионов. В отличие от урбанизированных территорий, где газораспределительные сети формируются при высокой плотности потребителей, сельская местность характеризуется значительной протяжённостью коммуникаций при низкой нагрузке, что формирует принципиально иные условия проектирования и строительства [1].

Современное состояние газификации в Казахстане определяется реализацией государственной стратегии, направленной на расширение доступа к природному газу. При этом уровень обеспеченности сельских территорий остаётся неоднородным, особенно в северных и восточных регионах, где отсутствует развитая магистральная инфраструктура [2]. Это обуславливает необходимость разработки инженерных решений, ориентированных на снижение капитальных затрат при сохранении нормативной надёжности систем газоснабжения.

С точки зрения строительного производства, системы газоснабжения относятся к линейным объектам с повышенными требованиями к безопасности. Их монтаж сопровождается необходимостью соблюдения регламентов, установленных нормативными документами, включая требования к глубине заложения, защитным зонам, способам соединения труб и контролю качества сварных соединений [3]. В сельских условиях выполнение этих требований осложняется геологическими особенностями, сезонной изменчивостью грунтов и ограниченной доступностью строительной техники.

Отдельного внимания требует проблема экономической эффективности. При увеличении протяжённости газопровода удельная стоимость подключения одного потребителя возрастает нелинейно, что связано с диспропорцией между затратами на строительство и объёмом потребления газа [4]. Это приводит к необходимости оптимизации трассировки, выбора материалов и технологий строительства, включая применение полиэтиленовых труб и безтраншейных методов прокладки.

Таким образом, актуальность исследования обусловлена необходимостью комплексного анализа технологий строительства и монтажа систем газоснабжения в сельских населённых пунктах Казахстана с учётом инженерных, экономических и эксплуатационных факторов. Целью работы является выявление эффективных технических решений и формирование рекомендаций по повышению результативности проектов газификации [5].

2. Материалы и методы

Методология исследования основана на анализе современных нормативных требований, инженерных практик и научных исследований в области газораспределительных систем [1, 3]. В отличие от классических гидравлических моделей, в данной работе акцент сделан на **реальных условиях строительства**, включая геологические, технологические и организационные факторы.

Дополнительно учитывались современные исследования в области:

 ISBN 978-601-08-5209-9

1) напряжённо-деформированного состояния трубопроводов [7];
2) методов контроля сварных соединений [6];
3) применения полимерных труб в газораспределительных системах [8].

2.1 Трассировка газопроводов и её влияние на эффективность

Трассировка газопроводов (рис. 1) рассматривается как ключевой этап, определяющий не только стоимость строительства, но и надёжность эксплуатации. Согласно современным подходам, газораспределительная сеть должна проектироваться как пространственная система с учётом структуры потребления и топологии населённого пункта [8].

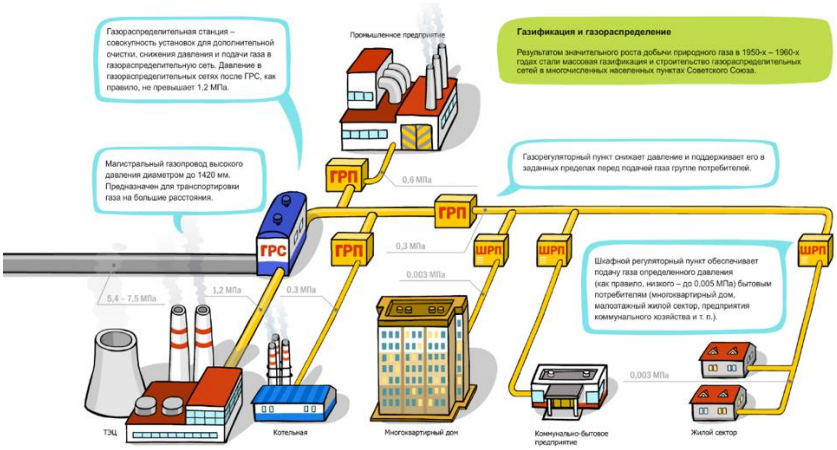


Рисунок 1. Анализ трассировки газопроводов

В сельской местности трассировка осложняется:
1) значительной протяжённостью при низкой плотности застройки;
2) необходимостью обхода природных препятствий;
3) ограничениями по охранным зонам [3].

Исследования показывают, что увеличение длины трубопровода не всегда приводит к росту затрат, если это позволяет избежать сложных инженерных участков [7]. Таким образом, оптимальная трасса определяется на основе комплексной оценки затрат, а не геометрического минимума.

2.2 Технологии строительства газопроводов

Выбор технологии строительства определяется сочетанием геологических условий и экономических факторов.

Траншейный метод (рис. 2) остаётся основным и регламентируется строительными нормами [3].



Рисунок 2. Траншейный способ прокладки

Он характеризуется:

1) высокой универсальностью;

2) возможностью применения в большинстве грунтов;

3) сравнительно низкой стоимостью.

Однако его недостатками являются высокая трудоёмкость и значительное воздействие на окружающую среду.

Метод горизонтально-направленного бурения (рис. 3) применяется при пересечении препятствий и позволяет существенно снизить объёмы земляных работ [8]. Несмотря на это, его применение в сельских проектах ограничено высокой стоимостью и необходимостью специализированного оборудования.



Рисунок 3. Горизонтально-направленное бурение

2.3 Конструктивные решения и материалы газопроводов

Современные газораспределительные системы характеризуются активным внедрением полиэтиленовых труб (рис. 4), обладающих высокой устойчивостью к коррозии и низкой стоимостью эксплуатации [8].

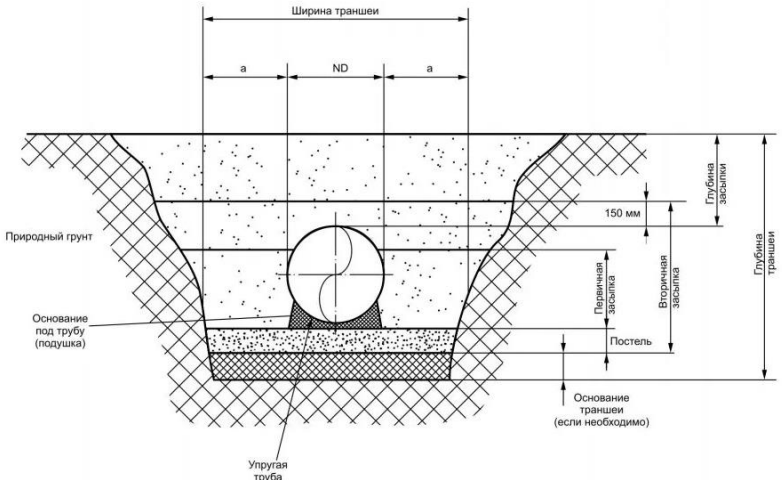


Рисунок 4. Схема прокладки полиэтиленовых труб

Преимущества полиэтиленовых труб:

1) высокая долговечность;

2) герметичность соединений;

3) снижение эксплуатационных затрат.

Однако исследования показывают, что полиэтилен подвержен температурным деформациям, что необходимо учитывать при проектировании [6].

Стальные трубопроводы продолжают применяться на ответственных участках, где требуются повышенные прочностные характеристики [3].

2.4 Контроль качества и надёжность сварных соединений

Качество сварных соединений является критическим фактором надёжности газопроводов. Согласно современным исследованиям, до 60% дефектов трубопроводов связано с нарушением технологии сварки [6].

В работе учитываются методы неразрушающего контроля (рис. 5):

1)ультразвуковая диагностика;

2)радиографический контроль;

3)визуально-измерительные методы.

Исследования подтверждают, что применение комплексного контроля позволяет существенно снизить вероятность аварий [6].

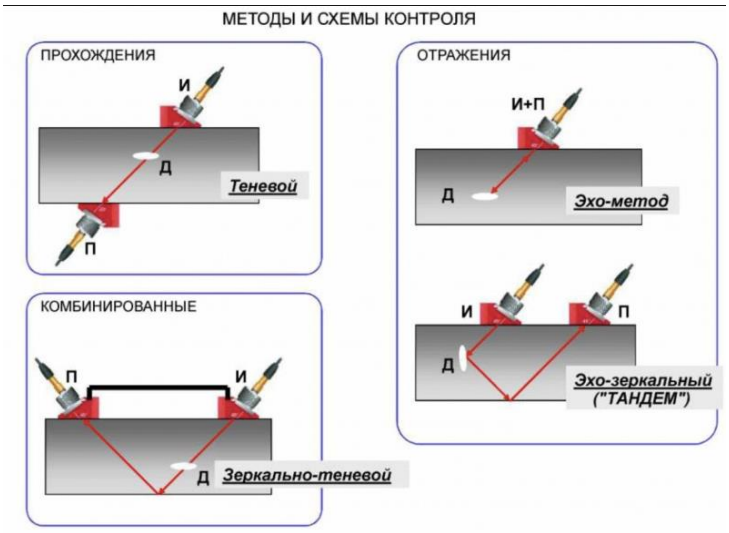


Рисунок 5. Методы неразрушающего контроля

3. Результаты

В результате проведённого исследования установлено, что эффективность строительства систем газоснабжения в сельских населённых пунктах Казахстана определяется совокупным влиянием протяжённости газопроводов, конфигурации сети, применяемых материалов и технологий строительства.

Анализ показал, что при увеличении протяжённости распределительных газопроводов наблюдается рост удельных затрат на одного потребителя. Это обусловлено низкой плотностью застройки и значительной долей линейных затрат, приходящихся на единицу подключения [4], [9]. Наиболее экономически эффективными являются участки с компактным размещением потребителей, тогда как в разреженной застройке стоимость газификации существенно возрастает.

Сравнение схем газораспределительных сетей показало, что тупиковые системы характеризуются меньшими капитальными затратами, однако уступают кольцевым по показателям надёжности. В условиях сельской местности целесообразно применение комбинированных схем, при которых основные линии выполняются тупиковыми, а наиболее ответственные участки резервируются кольцевыми соединениями [10].

Оценка применяемых материалов показала, что использование полиэтиленовых труб позволяет снизить стоимость строительства и повысить устойчивость к коррозионным воздействиям. Вместе с тем установлено, что такие трубы более чувствительны к температурным деформациям, что требует учёта при проектировании и эксплуатации [6-8].

4. Обсуждение

Полученные в работе результаты подтверждают, что строительство систем газоснабжения в сельских населённых пунктах Казахстана не может рассматриваться как упрощённый аналог городских проектов. Напротив, такие системы требуют адаптивного подхода, учитывающего пространственную разобщённость потребителей, неоднородность грунтовых условий и ограниченность ресурсов [2, 7].

Ключевым фактором, определяющим эффективность проектов, является трассировка газопроводов. Проведённый анализ показал, что традиционная стратегия минимизации длины не всегда является оптимальной. В ряде случаев увеличение протяжённости сети позволяет снизить сложность строительства за счёт обхода проблемных участков, что в конечном итоге уменьшает совокупные затраты [4, 8]. Это согласуется с современными исследованиями, где подчёркивается необходимость перехода от геометрической к экономико-технологической оптимизации трасс [6].

Существенное влияние на эффективность оказывает выбор технологии строительства. Несмотря на активное внедрение безтраншейных методов, в сельской местности траншейная прокладка сохраняет доминирующее положение. Это обусловлено её доступностью и меньшей зависимостью от специализированного оборудования [3]. Однако результаты показывают, что локальное применение горизонтально-направленного бурения на сложных участках позволяет значительно снизить риски повреждения инфраструктуры и сократить сроки работ, что делает комбинированный подход наиболее рациональным [8].

5. Выводы

Установлено, что строительство систем газоснабжения в сельских населённых пунктах характеризуется повышенной протяжённостью сетей и низкой плотностью потребителей, что существенно влияет на экономическую эффективность проектов [2].

Доказано, что оптимизация трассировки газопроводов должна осуществляться с учётом совокупных затрат, а не только минимизации длины, что позволяет снизить трудоёмкость и стоимость строительства [4, 6].

Определено, что наиболее рациональным является комбинированное применение технологий прокладки, при котором траншейный метод используется как основной, а горизонтально-направленное бурение - на сложных участках [8].

Подтверждена высокая эффективность применения полиэтиленовых труб, обеспечивающих снижение капитальных и эксплуатационных затрат при условии учёта их деформационных свойств [5, 7, 11].

Установлено, что надёжность газопроводов в значительной степени зависит от качества сварных соединений, что требует обязательного применения методов неразрушающего контроля [6].

Показано, что напряжённо-деформированное состояние трубопроводов в сельских условиях определяется совокупным воздействием внутренних и внешних факторов, включая температурные изменения и свойства грунта [7].

Выявлено, что организационные факторы, включая логистику и сезонность, оказывают существенное влияние на сроки и качество выполнения строительно-монтажных работ [9].

Сформулирована необходимость перехода к адаптивным инженерным решениям, учитывающим реальные условия эксплуатации и строительства, что является ключевым направлением повышения эффективности газификации сельских территорий Казахстана.

Литература

1. Закон Республики Казахстан «О газе и газоснабжении» от 9 января 2012 г. № 532-IV (с изменениями и дополнениями по состоянию на 2023 г.).

2. Министерство энергетики Республики Казахстан. Генеральная схема газификации Республики Казахстан на 2023-2030 годы. - Астана, 2023.
3. СП РК 4.03-101-2013 (с актуализацией 2018-2021 гг.). Газораспределительные системы. Актуализированная редакция строительных норм.
4. Абдрахманов С.К., Жумабеков Н.Т. (2019). Развитие газораспределительных сетей в сельской местности Казахстана // Вестник КазНИТУ, №2, с. 45-52.
5. Сулейменов Б.А., Тлеубаев А.М. (2020). Современные материалы для строительства газопроводов низкого давления // Инженерные системы и технологии, №3, с. 33-40.
6. Бондарь И.С., Рахимжанов А.Б., Ремизов Е.Н. (2024). Методы неразрушающего контроля, используемые при проверке сварных швов нефтепроводов // Вестник КазАДИ, №4, с. 8-18.
7. Бондарь И.С., Квашнин М.Я., Рахимжанов А.Б. (2023). Исследование напряженно-деформированного состояния подземных трубопроводов // Вестник КазАДИ, №4, с. 41-52.
8. Makarov V., Ivanov S., Petrov A. (2018). Modern technologies in gas distribution pipeline construction // Journal of Pipeline Engineering, Vol. 17, No. 2, pp. 95-104.
9. Kim Y., Lee J. (2021). Construction management of rural gas pipeline systems under limited infrastructure conditions // Energy Reports, Vol. 7, pp. 4123-4131.
10. Zhang L., Wang H. (2019). Reliability analysis of gas distribution networks considering environmental factors // Journal of Natural Gas Science and Engineering, Vol. 65, pp. 1-10.
11. Ахметжанова К. М., Ерғали Ә. Е., Бондарь И.С., Джексенбаев Е. К. (2026). Технологический процесс строительства современных газгольдеров / Международный научно-исследовательский центр “Endless Light in Science” Impact Factor: SJIF 2023 - 5.95. с. 38-45. https://doi.org/10.5281/zenodo.18812593.

УДК 624.138.26; 622.324.5

ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ПЕСКА ДЛЯ КОНСТРУКТИВНЫХ СЛОЕВ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

[1]Купжанов Ғ.Е., [2]Нұрғалиев Н.Е., [3]Насыр А.К., *[4]Бондарь И.С.
[1,2,3,4]Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б.Гончарова (КазАДИ), 050061, Алматы, Казахстан;

Аннотация	В данной работе проведены лабораторные исследования песка с целью оценки его физических свойств и пригодности для конструктивных слоев дорожной одежды. Использованы ключевые методы, такие как квартование для получения репрезентативной выборки, определение насыпной плотности, ситовой анализ для изучения зернового состава и методы для оценки содержания пылевидных и глинистых частиц. Результаты показали, что модуль крупности песка составляет 2,33, что соответствует нормам, а содержание крупных зерен значительно ниже допустимого значения, что свидетельствует о высокой однородности материала. Также установлено, что процент мелких частиц составляет 3,40%, что также соответствует требованиям. Значение насыпной плотности составило 1324,40 кг/м³, что подтверждает его пригодность для компакции. В целом, результаты испытаний указывают на высокое качество песка, что делает его подходящим для использования в строительстве и инженерных задачах.
Ключевые слова	*Песок, точечная проба, объединенная проба, аналитическая проба, лабораторные испытания.*
Купжанов Ғ.Е.	***Информация об авторах:*** *Студент 4-го курса, обучающийся по образовательной программе 6В07311 - «Строительство автомобильных дорог и аэродромов», Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б.Гончарова (КазАДИ), Алматы, Казахстан;*
Нұрғалиев Н.Е.	*Студент 4-го курса, обучающийся по образовательной программе 6В07311 - «Строительство автомобильных дорог и аэродромов», Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б.Гончарова (КазАДИ), Алматы, Казахстан;*

Насыр А.К.	***Информация об авторах:*** *Магистрант, Образовательная программа: 7М07346 – Транспортное строительство, в ALT университет имени М. Тынышбаева, г. Алматы, Республика Казахстан, E-mail: Nasir_Alisher_K@gmail.com*
Бондарь И.С.	*Автор-корреспондент, Кандидат технических наук ВАК РФ, Ph. D МОН РК, ассоциированный профессор (доцент) МНиВО РК, профессор кафедры «Транспортное строительство и урбанистика», Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова (КазАДИ), г. Алматы, Республика Казахстан,ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-7376-5643, E-mail: ivan_sergeevich_08@mail.ru.*

1. Введение

При строительстве автомобильных дорог важнейшим этапом обеспечения качества материалов является приёмочный контроль на заводе-изготовителе, в рамках которого выполняют отбор проб для последующей проверки характеристик продукции.

Процедура отбора организована в два последовательных этапа: ***первый этап*** - отбор точечных проб. Отдельные образцы материала получают разными способами в зависимости от ситуации: с технологических линий, транспортирующих материалы на склад или непосредственно в транспортные средства, - путём пересечения потока на ленточном конвейере либо в местах изменения направления потока; для этого используют специальные пробоотборники либо выполняют отбор вручную (совком или лопатой). При отгрузке песка прямо из карьера - непосредственно во время загрузки материала в транспортные средства.

Второй этап - формирование объединённой пробы. Все полученные точечные пробы тщательно смешивают, чтобы получить единый представительный образец для лабораторных испытаний от продукции каждой технологической линии. Такой подход гарантирует репрезентативность выборки и позволяет объективно оценить качество материалов, используемых в дорожном строительстве, снижая риски применения несоответствующей продукции. [1-3].

2. Материалы и методы

Объект: участок строительства автодороги в Актюбинская области; материал - песок для строительных работ; место отбора – река Илек; количество пробы – 50 кг.

2.1. Метод квартования

Перед отправкой в лабораторию объём объединённой пробы уменьшают методом квартования [4-6]. Процесс выглядит так: 1. Пробу тщательно перемешивают и формируют из неё конус; 2. Конус выравнивают и делят на четыре равные части, проводя через центр две взаимно перпендикулярные линии; 3. Из двух противоположных четвертей отбирают материал для новой пробы - остальные части отбрасывают; 4. Операцию повторяют последовательно (каждый раз сокращая объём вдвое), пока не получат лабораторную пробу нужного размера (рис. 1).



Рисунок 1. Пример квартования песка в лаборатории на бетонном полу

Метод обеспечивает репрезентативность образца при уменьшении его объёма и широко применяется в подготовке проб для лабораторных испытаний.

2.2. Насыпная плотность

Метод основан на взвешивании песка в мерных сосудах. Порядок выполнения: 1. Берут предварительно взвешенный мерный цилиндр; 2. Песок насыпают в цилиндр с высоты 0,1 м до образования конуса над краем сосуда; 3. Избыток песка аккуратно срезают металлической линейкой - ровно по краям цилиндра, добиваясь ровной поверхности без пустот и выступов; 4. После этого взвешивают сосуд с песком и фиксируют общую массу. Разность между массой цилиндра с песком и массой пустого цилиндра даёт массу песка в известном объёме. На основе этих данных рассчитывают насыпную плотность материала - ключевой показатель для оценки его свойств в строительных работах. (рис. 2).



Рисунок 2. Пример как определяется насыпная плотность

2.3. Зерновой состав и модуль крупности

Зерновой состав песка определяют методом рассева на стандартном наборе сит. Порядок проведения испытания: подготавливают аналитическую пробу песка массой более 2 кг и полностью высушивают её в сушильном шкафу при температуре 105°С в течение 4–5 часов. Высушенный песок просеивают через сита с диаметрами отверстий от 10 до 0,01 мм. Из части пробы, прошедшей через сито с отверстиями 5 мм, отбирают более 1 кг материала для анализа зернового состава. Просеивание выполняют механическим или ручным способом. Процесс продолжают до достижения критерия: при интенсивном встряхивании сита в течение минуты через него проходит не более 0,1 % от общей массы навески (рис. 3). Такой подход обеспечивает точность оценки распределения частиц по размерам.



 ISBN 978-601-08-5209-9



Рисунок 3. Пример выполнения работ по определению зернового состава песка в лабораторных условиях

2.5. Истинная плотность песка

Истинную плотность определяют путём измерения массы единицы объёма высушенных зёрен. Из аналитической пробы отбирают навеску ~30 г и просеивают через сито (диаметр отверстий 5 мм). Песок высушивают при 105°С 4–5 часов, охлаждают в эксикаторе, делят на 2 равные части. Каждую часть помещают в чистый, высушенный и взвешенный пикнометр, который затем взвешивают. Добавляют дистиллированную воду (≈ 2/3 объёма), перемешивают, кипятят 15 минут (или вакуумируют) для удаления воздуха. Охлаждают до комнатной температуры, доливают воду до метки, повторно взвешивают. Пикнометр очищают, заполняют водой до метки и снова взвешивают. Точность измерений - не более ±0,01 г (рис. 4).



Рисунок 4. Работа с пикнометром (прибором Ле-Шателье)

2.4. Выявление глинистых (пылевидных частиц) в песке

Метод основан на измерении изменения массы песка после отмывания частиц размером до 0,05 мм. Порядок проведения: песок просеивают через сито с отверстиями 5 мм. Прошедший через сито материал высушивают в сушильном шкафу при температуре 105°С в течение 4–5 часов. Отбирают навеску массой ровно 1 кг и помещают её в цилиндр. Наливают воду на 20 см выше уровня песка, оставляют на 2 часа, периодически перемешивая для растворения глинистых частиц. Содержимое снова перемешивают и оставляют ещё на 2 минуты. Сливают суспензию, оставляя слой воды высотой не менее 3 см над песком. Промывку повторяют до полной прозрачности воды. После завершения промывки песок высушивают и взвешивают - по разнице масс определяют содержание пылевидных и глинистых частиц (рис. 5).

 ISBN 978-601-08-5209-9

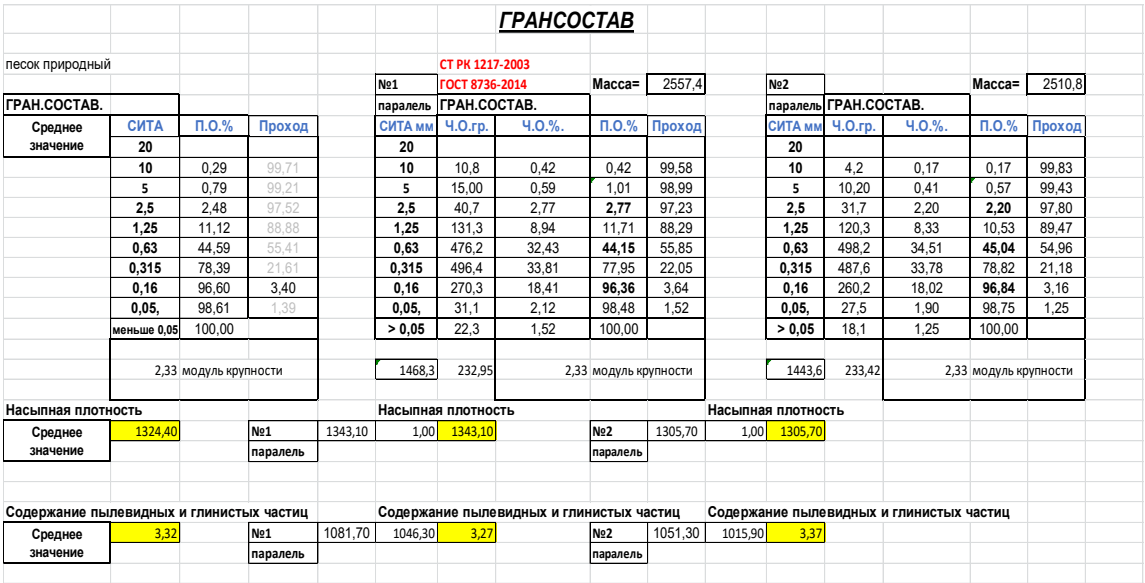


Рисунок 5. Пример выявления глинистых (пылевидных частиц) в песке (отмучивание)

3. Результаты

Таблица 1. Сравнение полученных результатов лабораторных испытаний с нормативными данными

№	Показатель	Результат	Норма по нормативному документу
1	Модуль крупности не менее	2,33 (Средний)	св. 2 до 2,5
2	Зерна >10 мм, %	0,29	2
3	Зерна >5 мм, %	0,79	12
4	Остаток на сите№ 0,63, %	44,59	Св. 30-45
5	Зерна <0,16 мм, %	3,40	Не более 15
6	Насыпная плотность, кг/м³	1324,40	Не нормируется
7	Пылевидные и глинистые частицы, %	3,32	Не более 5



ГРАНСОСТАВ

песок природный — СТ РК 1217-2003 — ГОСТ 8736-2014

ГРАН.СОСТАВ.				№1 паралель	ГРАН.СОСТАВ.		Масса= 2557,4		№2 паралель	ГРАН.СОСТАВ.			Масса= 2510,8
Среднее значение	СИТА	П.О.%	Проход	СИТА мм	Ч.О.гр.	Ч.О.%.	П.О.%	Проход	СИТА мм	Ч.О.гр.	Ч.О.%.	П.О.%	Проход
	20			20					20				
	10	0,29	99,71	10	10,8	0,42	0,42	99,58	10	4,2	0,17	0,17	99,83
	5	0,79	99,21	5	15,00	0,59	1,01	98,99	5	10,20	0,41	0,57	99,43
	2,5	2,48	97,52	2,5	40,7	2,77	2,77	97,23	2,5	31,7	2,20	2,20	97,80
	1,25	11,12	88,88	1,25	131,3	8,94	11,71	88,29	1,25	120,3	8,33	10,53	89,47
	0,63	44,59	55,41	0,63	476,2	32,43	44,15	55,85	0,63	498,2	34,51	45,04	54,96
	0,315	78,39	21,61	0,315	496,4	33,81	77,95	22,05	0,315	487,6	33,78	78,82	21,18
	0,16	96,60	3,40	0,16	270,3	18,41	96,36	3,64	0,16	260,2	18,02	96,84	3,16
	0,05,	98,61	1,39	0,05,	31,1	2,12	98,48	1,52	0,05,	27,5	1,90	98,75	1,25
	меньше 0,05	100,00		> 0,05	22,3	1,52	100,00		> 0,05	18,1	1,25	100,00	
	2,33 модуль крупности			1468,3	232,95	2,33 модуль крупности			1443,6	233,42	2,33 модуль крупности		

Насыпная плотность				Насыпная плотность					Насыпная плотность				
Среднее значение	1324,40		№1 паралель	1343,10	1,00	1343,10		№2 паралель	1305,70	1,00	1305,70		

Содержание пылевидных и глинистых частиц				Содержание пылевидных и глинистых частиц					Содержание пылевидных и глинистых частиц				
Среднее значение	3,32		№1 паралель	1081,70	1046,30	3,27		№2 паралель	1051,30	1015,90	3,37		

Рисунок 6. Пример полученных результатов зернового состава песка

4. Обсуждение

Лабораторные исследования песка используют ключевые методы для получения информации о его физических свойствах. Метод квартования уменьшает объем образца до управляемого размера, сохраняя его представительность, путем деления на равные части. Насыпная плотность определяется как масса единицы объема песка в ненагруженном состоянии, что важно для оценки поведения при укладке. Зерновой состав анализируется с помощью ситового анализа, который определяет распределение частиц по размерам. Модуль крупности рассчитывается на основе процентного содержания фракций, что позволяет оценить однородность песка. Для определения содержания пылевидных и глинистых частиц используются осаждение или гравиметрический метод, так как они влияют на прочность и водопроницаемость. Истинная плотность, измеряемая пикнометрическим методом, помогает понять поведение песка в различных условиях. Каждый из этих методов играет важную роль в комплексной оценке качества песка и его пригодности для различных строительных и инженерных задач при строительстве автомобильных дорог [7-11].

5. Выводы

В таблице 1 представлены результаты лабораторных испытаний песка и их сопоставление с нормативными данными. Модуль крупности составил 2,33, что соответствует норме (2-2,5) и свидетельствует о хороших характеристиках песка для строительства. Процент зерен размером более 10 мм (0,29%) ниже нормативного значения (2%), что указывает на однородность материала. Процент зерен более 5 мм (0,79%) также ниже нормы (12%), подтверждая высокую однородность для тонкослойных конструкций. Значение 44,59% находится в пределах нормы (30-45%), что указывает на подходящий состав фракций для прочности и стабильности. Процент мелких частиц (3,40%) ниже допустимого (15%), что свидетельствует о высоком качестве песка. Насыпная плотность (1324,40 кг/м³) не нормируется, но полезна для оценки компакции. Содержание пылевидных и глинистых частиц (3,32%) в пределах нормы (не более 5%) также подтверждает качество материала.

В целом, результаты лабораторных испытаний показывают, что исследуемый песок соответствует большинству нормативных требований и обладает высокими эксплуатационными характеристиками. Это делает его подходящим для использования в инженерных задачах строительства в различных дорожно-климатического зонах Казахстана [12].

Литература

1. Черноситова Е.С., Денисова Ю., Сергеев С.В. (2012). Статистический анализ качества песка при геологической разведке нового месторождения / Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, №3. С. 37-40.

2. Ишмаев О.А., Филимонова Н.В. (2022). Результаты трехосных испытаний песков гравелистых в комплексе «АСИС» с диаметром образцов 100 мм / Известия УГГУ. Вып. 2 (66). С. 89–95. DOI 10.21440/2307-2091-2022-2-89-95

3. Порошин М.А., Тананыхин Д.С., Григорьев М.Б. (2020). Анализ лабораторных методов исследования процесса пескопроявления при разработке нефтяных месторождений // Вестник Евразийской науки, №2, с.1-10. https://esj.today/PDF/73NZVN220.pdf

4. СТ РК 1217-2003. Песок для строительных работ. Методы испытаний.

5. ГОСТ 8735-88. Межгосударственный Стандарт - Песок для строительных работ. Методы испытаний, Москва, 2018.

6. ГОСТ 8736-2014. Межгосударственный Стандарт - Песок для строительных работ. Технические условия.

7. СН РК 3.03-19-2006. Проектирование дорожных одежд нежесткого типа. - Астана. 2007.

8. СТ РК 1225-2019. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия.
9. Бондарь И.С., Алпыспаева Ж.А., Ахметова П.Т., Кыстаубаев С.Б., Хардиков П.Г. (2024). Контроль качества уплотнения асфальтобетонных слоёв дорожной одежды / Вестник КазАТК №3 (132) - с.52-60. https://doi.org/10.52167/1609-1817-2024-132-3-52-60.
10. Бондарь И.С., Ахметова П.Т., Хардиков П.Г. Кыстаубаев С.Б., Пернебеков С.С. (2024). Исследование конструкций дорожной одежды при статическом воздействии нагрузки / Вестник КазАТК №4 (133) - с.66-76. https://doi.org/10.52167/1609-1817-2024-133-4-66-76.
11. Бондарь И.С., Нугуманов Н.К. (2025). Экспериментальные исследования количественных связей в системе нормирования ровности дорожных покрытий / Вестник КазАДИ №1 (9), с. 9-17.
12. Кулбаев Е.Ш., Баратова Т.С., Бондарь И.С. (2026). К вопросу дорожно-климатического зонирования Казахстана на примере V климатической зоны / INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL «ENDLESS LIGHT IN SCIENCE» №2, 28 февраля 2026 г., Астана, Казахстан, с. 50-59. https://doi.org/10.5281/zenodo.18952661.

УДК 665.775; 625.7/.8

ПОДБОР БИТУМНОГО ВЯЖУЩЕГО С УЧЕТОМ КЛИМАТИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН ПО СИСТЕМЕ SUPERPAVE

[1]Кулбаев Е.Ш., [2]Насыр А.К., *[3] Бондарь И.С.

[1,2]ALT Университет имени Мухамеджана Тынышпаева, 050012, Алматы, Казахстан;
[3]Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б.Гончарова (КазАДИ), 050061, Алматы, Казахстан.

Аннотация	Дорожно-климатическое районирование территории Казахстана является одним из важнейших объектов научно-исследовательских и инженерно- географических изысканий для накопления достоверных данных по районированию и обоснованию расчетных температур. Согласно действующей дорожно-климатической классификации вся территория Республики Казахстан относится к III-V зонам, причем большая ее часть находится в IV-V зонах. Результаты обследования дорог, экспертизы качества материалов показывают, что одной из основных причин появления преждевременных деформаций покрытий, колеобразования, усталостных и низкотемпературных трещин, ухудшения транспортно-эксплуатационных показателей является несоответствие применяемых битумов климатическим условиям. При выборе битумных вяжущих для получения качественных асфальтобетонных смесей необходимо учитывать климатические условия района эксплуатации покрытия и интервал работоспособности вяжущего. В статье проанализированы и обработаны данные 5 метеостанций за последние 20 лет по максимальным и минимальным температурам воздуха, по которым можно обосновывать выбор, вяжущего с учетом климатических особенностей Республики Казахстан в зависимости от условий эксплуатации.
Ключевые слова	*Битумное вяжущее, климатические условия, асфальтобетонное покрытие, максимальная и минимальная температура, Суперпейв.*
Кулбаев Ербол Шортанбаевич	***Информация об авторах:*** *Магистрант, Образовательная программа: 7М07346 – Транспортное строительство, в ALT университет имени М. Тынышбаева, г. Алматы, Республика Казахстан, E-mail: kulbayev.yerbol_87@gmail.com*
Насыр Алишер Кайратулы	***Информация об авторах:*** *Магистрант, Образовательная программа: 7М07346 – Транспортное строительство, в ALT университет имени М. Тынышбаева, г. Алматы, Республика Казахстан, E-mail: Nasir_Alisher_K@gmail.com*
Бондарь Иван Сергеевич	*Автор-корреспондент, Кандидат технических наук ВАК РФ, Ph. D МОН РК, ассоциированный профессор (доцент) МНиВО РК, профессор кафедры «Транспортное*

	строительство и урбанистика», Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, г. Алматы, Республика Казахстан, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-7376-5643, E-mail: ivan_sergeevich_08@mail.ru.

1. Введение

Дорожно-климатическое районирование территории Казахстана представляет собой один из наиболее значимых объектов для проведения научно-исследовательских работ и инженерно-географических изысканий. Это необходимо для накопления достоверных данных, которые помогут в районировании и обосновании расчетных температур для различных регионов страны. В соответствии с действующей дорожно-климатической классификацией, вся территория Республики Казахстан делится на III-V зоны, при этом большая часть страны попадает в IV-V зоны [1-3]. Результаты проведенных обследований дорожного покрытия и экспертиз качества используемых материалов показывают, что одной из ключевых причин возникновения преждевременных деформаций покрытия, таких как колеобразование, усталостные трещины и трещины, возникающие при низких температурах, а также ухудшение транспортно-эксплуатационных характеристик, является несоответствие применяемых битумов климатическим условиям определенных регионов [4-6]. При выборе битумных вяжущих, необходимых для получения высококачественных асфальтобетонных смесей, крайне важно учитывать климатические условия конкретного района, где будет эксплуатироваться дорожное покрытие, а также интервал работоспособности самого вяжущего [7, 8]. В данной статье представлены результаты анализа и обработки данных, собранных с пяти метеостанций за последние двадцать лет, которые касаются максимальных и минимальных температур воздуха. Эти данные позволяют обосновать выбор битумного вяжущего с учетом климатических особенностей Республики Казахстан и специфики условий эксплуатации дорожных покрытий.

Суперпейв (Superpave) – это современная система проектирования асфальтобетонных смесей, разработанная для улучшения характеристик дорожных покрытий и увеличения их долговечности. Система была внедрена в 1990-х годах в США и с тех пор стала стандартом для проектирования и оценки битумных материалов. Суперпейв – система, включающая определение характеристик битумных материалов на основе их эксплуатационных показателей для расчетных климатических условий с целью улучшения поведения в эксплуатации путем контроля колееобразования, низкотемпературного и усталостного трещинообразования [9].

Основные компоненты системы Суперпейв: определение характеристик битума; климатические условия; контроль колееобразования; низкотемпературное трещинообразование; усталостное трещинообразование.

Определение характеристик битума: Суперпейв включает в себя оценку битумных материалов на основе их эксплуатационных свойств, таких как температура плавления, вязкость и устойчивость к старению. Это позволяет выбрать наиболее подходящий битум для конкретных климатических условий.

Климатические условия: для различных регионов и климатических зон разработаны специальные критерии, которые учитывают температурные колебания, влажность и другие факторы, влияющие на поведение дорожного покрытия.

Контроль колееобразования: система направлена на минимизацию колееобразования, которое возникает под воздействием нагрузки от транспортных средств. Это достигается за счет оптимального подбора компонентов асфальтобетонной смеси.

Низкотемпературное трещинообразование: Суперпейв учитывает низкие температуры, при которых возможны трещины в дорожном покрытии. Специальные тесты помогают определить, как битум ведет себя при низких температурах, что позволяет предотвратить трещинообразование.

Усталостное трещинообразование: усталостное трещинообразование происходит из-за многократного нагружения и разнагружения покрытия. Система Суперпейв включает

методы оценки усталостной прочности битумных материалов, что позволяет повысить их устойчивость к трещинообразованию.

Преимущества системы Суперпейв: Увеличение долговечности: дорожные покрытия, спроектированные по методологии Суперпейв, имеют более длительный срок службы; Экономическая эффективность: снижение затрат на обслуживание и ремонт благодаря меньшему количеству дефектов и повреждений; Устойчивость к климатическим изменениям: система позволяет адаптировать дорожные покрытия к специфическим условиям эксплуатации, что делает их более надежными.

Система Суперпейв представляет собой важный шаг в развитии технологии дорожного строительства, обеспечивая более высокие стандарты качества и долговечности асфальтобетонных покрытий, что особенно актуально в условиях изменяющегося климата и увеличения транспортных нагрузок [10].

2. Материалы и методы

2.1. Определение $T_{мин}$ и T_{max} для асфальтобетона

Расчет экстремальных температур асфальтобетона (максимальных и минимальных) с учетом солнечной радиации и локализации строительного объекта выполняется согласно технической системе Superpave. [11, 12] по формулам (1) и (2). За расчетную максимальную температуру принимается пиковое значение в слое асфальтобетона на глубине 2 см, вычисляемое по соответствующей формуле (1):

$$T_{max} = (T_в^{max} - 0{,}00618 \cdot L + 42{,}2) \cdot 0{,}9545 - 17{,}18 \quad (1)$$

где

T_{max} - расчетная предельная температура асфальтобетона до 2 см в глубь; $Тв^{max}$ - среднее значение предельная температур воздушной среды за неделю, °С; L – локализация строительного объекта, град.

Нижний предел расчетной температуры воздушной среды принимается равной наименьшей температуре поверхности асфальтобетона и определяется по той же зависимости (2):

$$T_{min} = 0{,}859 \cdot T_в^{min} + 17 \quad (2)$$

где, T_{min} - нижний предел расчетной температуры поверхности асфальтобетона, °С; $Т_в^{min}$ - нижний предел температуры воздушной среды за сутки, °С.

2.2. Казахстан условно разделён на климатические зоны с учётом расчётных температур покрытий из асфальтобетона.

Значения температур (T_{max}) и (T_{min}) уточняются по карте (рис. 1), предназначенной для определения этих показателей [8].

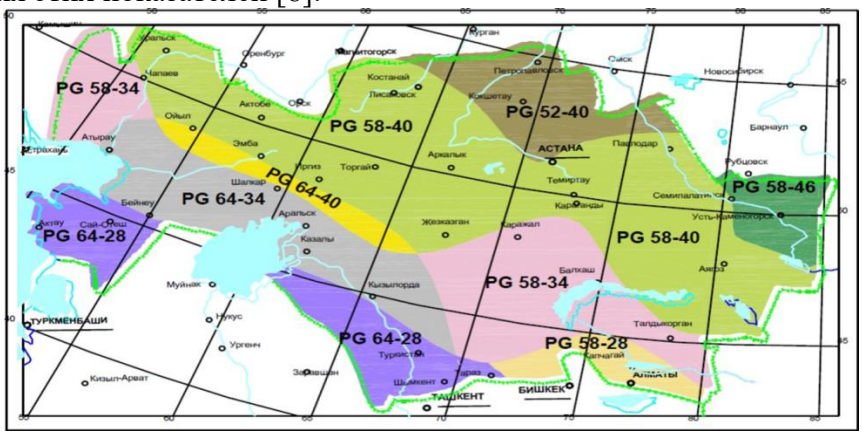


Рисунок 1. Карта территории Казахстана с расчетными T_{max} и T_{min} покрытия из асфальтобета

На рисунке 1 показаны границы температур покрытий из асфальтобета с учётом классификации органических (битумных) вяжущих по системе Superpave. Например, маркировка PG 58-34 означает, вяжущее должно отвечать требованиям по температурным показателям от+58 °С до −34 °С.

Так же корректировка необходима для большего числа транспортных нагрузок. Для участков автомобильных дорог с определенной расчетной интенсивностью и составом движения высокотемпературная марка битумного вяжущего определяется по формуле (3):

$$PG_{\text{вр}} = PG_{\text{в карта}} + \text{К}_\text{т} \cdot 6 \quad (3)$$

где, $PG_{вр}$ - расчетная высокотемпературная марка битумного вяжущего, определяемая с учетом интенсивности и состава движения; $PG_{в\ карта}$ - высокотемпературная марка битумного вяжущего, определяемая по карте (рисунок 1); $К_т$ - коэффициент, учитывающий интенсивность и состав движения. Значение коэффициента $К_т$ назначается в зависимости от расчетной осевой нагрузки и условий движения на участке автомобильной дороги по таблице 1.

Таблица 1. Классификация условий движения и коэффициент, учитывающий интенсивность и состав движения ($К_т$)

Условия движения	Суммарное количество расчетной осевой нагрузки (млн.)		Коэффициент $К_т$ при количестве расчетных осей (млн)	
	А1 (10 т)	А2 (13 т)	А1 (10 т)	А2 (13 т)
Легкие	< 3,7	< 1,2	0	0
Средние	3,7 - 11,2	1,2 - 3,5	1	1
Тяжелые	> 11,2	> 3,5	2	2

Общее количество расчетных осевых нагрузок, приходящихся на одну полосу движения за весь период эксплуатирования дороги из асфальтобетона, определяется по установленной формуле (4) [13]:

$$\sum N_p = 365 \cdot N_p \frac{q^T - 1}{q - 1} \quad (4)$$

где, N_p - величина расчётной осевой нагрузки на одну полосу движения в 1-й год эксплуатации, авт/сут; T - расчётный период эксплуатации конструкции из асфальтобетона, лет; q - коэффициент ежегодного роста интенсивности движения.

$$N_p = f_{\text{пол}} \cdot \sum_{m=1}^{n} N_m \cdot S_{m\ \text{сумм}} \quad (5)$$

N_m – показатель частоты проезда автотранспорта i-той марки (m); $S_{m_сумм}$ - суммарный коэффициент приведения воздействия автотранспорта i-той марки (m) на конструкцию из асфальтобетона к эквивалентному воздействию расчётного автомобиля; n - разнообразие марок автотранспорта в потоке; $f_{пол}$ – коэффициент полосности автодороги.

Показатели, необходимые для пользования таблица 1, формулами (4) и (5) назначаются согласно положениям раздела 6, Строительных норм [13].

3. Результаты

В таблице 2 представлены расчётные максимальные и минимальные температуры для пяти метеостанций, расположенных в южном регионе Республики Казахстан. При составлении температурной карты расчетные значения принимаются с шагом 6 °С с применением линейной интерполяции. В связи с этим рассматриваются следующие

диапазоны: для максимальных температур 52 °C, 58 °C, 64 °C, а для минимальных −28 °C, −34 °C, −40 °C и −46 °C.

Таблица 2. Расчётные значения T_{max} и T_{min} асфальтобетона

№	Метеорологическая станция	Расчетная температура, °C		Марка битумного вяжущего PG
		максимальная	минимальная	
1	Алматы	58	-28	58-28
2	Тараз	64	-28	64-28
3	Талдыкорган	58	-34	64-34
4	Шымкент	64	-28	64-28
5	Кызылорда	64	-34	64-34

Критерии соответствия битумных вяжущих условиям эксплуатации по технической системе Superpave:

Устойчивость к колееобразованию

Органическое вяжущее считается устойчивым к появлению колеи на поверхности асфальтобетона, если при предельной температуре асфальтобетона показатель G*/sin δ больше 1,0 кПа в исходном состоянии, 2,2 кПа после процедуры состаривания по методу RTFO (где G* - комплексный модуль сдвига, δ - фазовый угол).

Усталостное разрушение

Условия искусственного состаривания материала считаются выполненными, если при расчётной средней температуре показатель G*·sin δ после повторного состаривания (RTFO и PAV) не превышает 5000 кПа.

Низкотемпературное трещинообразование

Вяжущее соответствует требованиям по трещиностойкости, когда при расчётной минимальной температуре его жесткость S не превышает 300 МПа, а параметр m больше 0,3 (таблица 3).

Таблица 3. Расчетные температуры для испытания битумных вяжущих

Расчетная максимальная температура, °C	Расчетная минимальная температура, °C	Расчетная средняя температура, °C
52	-30	10
58	-18	19
58	-24	16
58	-30	13
58	-36	10
64	-18	22
64	-24	19

Примечание: В силу использования принципа температурной суперпозиции, расчетная минимальная температура принимается на 10°C выше, чем установленная по карте на рис. 1.

4. Обсуждение

Superpave помогает подобрать битумное вяжущее с учётом климата и нагрузки. Главный инструмент - классификация PG X(Z)–Y: X - макс. температура, Y - мин. температура, Z - учёт транспортной нагрузки. Например, PG 64–28 работает от −28 °C до +64 °C. Верно. Процесс включает четыре этапа: сначала рассчитывают температуры покрытия по климатическим данным, затем выбирают марку PG (чтобы $X > T_{max}$, $Y < T_{min}$). Далее - лабораторные испытания: старение (RTFOT и PAV), тесты на DSR и BBR для оценки устойчивости к колее и трещинам. И в конце проверяют соответствие стандартам по жёсткости, релаксации и т.д. В итоге покрытие служит дольше и меньше требует ремонта.

5. Выводы

Система Superpave позволяет эффективно подбирать битумное вяжущее для дорожных покрытий в условиях резко континентального климата Казахстана с перепадами температур от +50 °C до −40 °C. Ключевой инструмент - классификация PG (PG X–Y), где X и Y задают верхний и нижний пределы эксплуатационных температур. Подбор включает расчёт температурных режимов покрытия, лабораторные испытания (DSR, BBR, RTFO, PAV) и проверку соответствия нормативам на эксплуатируемых и строящихся участках автодорог [11]. Адаптация метода ведётся КаздорНИИ: разработаны национальные стандарты и проведены испытания на апробационных участках (трассы «Алматы - Хоргос», «Отар - Узынагаш»). Такой подход повышает долговечность дорог и снижает затраты на ремонт, обеспечивая устойчивость к колееобразованию, трещиностойкости и усталостным разрушениям.

Литература

1. Кулбаев Е.Ш., Баратова Т.С., Бондарь И.С. (2026). К вопросу дорожно-климатического зонирования Казахстана на примере V климатической зоны / INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL «ENDLESS LIGHT IN SCIENCE» №2, 28 февраля, Астана, Казахстан, с. 50-59. https://doi.org/10.5281/zenodo.18952661.

2. Телтаев Б.Б., Айтбаев К.А., Суппес Е.А., Тілеу Қ.Б. (2018). К усовершенствованию дорожно-климатического районирования Казахстана, Вестник КазАТК, №2(105), С. 141-148.

3. Телтаев Б.Б. Каганович Е.В., Измайлова Г.Г. (2008). Учет климатических условий эксплуатации при выборе битума для асфальтобетонных смесей / Наука и техника в дорожной отрасли, № 2. – С. 17–20.

4. Бондарь И.С., Ахметова П.Т., Хардиков П.Г. Кыстаубаев С.Б., Пернебеков С.С. (2024). Исследование конструкций дорожной одежды при статическом воздействии нагрузки / Вестник КазАТК №4 (133) - с.66-76. https://doi.org/10.52167/1609-1817-2024-133-4-66-76.

5. Бондарь И.С., Алпыспаева Ж.А., Ахметова П.Т., Кыстаубаев С.Б., Хардиков П.Г. (2024). Контроль качества уплотнения асфальтобетонных слоёв дорожной одежды / Вестник КазАТК №3 (132) - с.52-60. https://doi.org/10.52167/1609-1817-2024-132-3-52-60.

6. Бондарь И.С., Нугуманов Н.К. (2025). Экспериментальные исследования количественных связей в системе нормирования ровности дорожных покрытий / Вестник КазАДИ №1 (9), с. 9-17.

7. СТ РК 1224-2003 Битумы и битумные вяжущие. Методы определения устойчивости к старению под воздействием прогрева и воздушной среды.

8. Р РК 218-96-2013 «Рекомендации. Районирование территории Казахстана по расчетным температурам асфальтобетонных покрытий».

9. Superpave Performance Graded Asphalt Binder Specification and Testing, Superpave Series No. 1 (SP-1). – Asphalt Institute, Lexington, KY, 1994. – 70 p.

10. Золотарев В.А., Пыриг Я.И. (2018). Применение метода выбора марки битумного вяжущего, в соответствии с системой Superpave, в условиях Украины / Вестник ХНАДУ, вып. 82, с. 119-128. https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2018.82.0.119.

11. AASHTO M 320-05. Standard Specification for Performance Graded Asphalt Binder, 2005.

12. Performance Graded Asphalt Binder Specification and Testing. Superpave Series No. 1 (SP-1). Third Edition, Asphalt Institute, Inc., pp. 1-59, 2003.

13. СН РК 3.03-19-2006. Проектирование дорожных одежд нежесткого типа. - Астана. 2007.

УДК 691.32;691.328; 625.84

СОДЕРЖАНИЕ И РЕМОНТ АЭРОДРОМНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПРИМЕРЕ АЭРОДРОМА МЕЖДУНАРОДНОГО АЭРОПОРТА АСТАНЫ «НУРСУЛТАН НАЗАРБАЕВ»

[1]Кожас А.М., [2]Муханбеткалиев А.К., [3]Достаев Д.К., [4]Даир Д.С., *[5]Бондарь И.С.
[1,2,3,4,5]Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б.Гончарова (КазАДИ), 050061, Алматы, Казахстан;

Аннотация	В статье рассматриваются вопросы содержания и ремонта аэродромных покрытий на примере международного аэропорта Астаны «Нурсултан Назарбаев». Анализируется текущее состояние аэродромного покрытия, выявляются основные проблемы, связанные с его эксплуатацией, и предлагаются рекомендации по улучшению качества и долговечности покрытий. Исследование включает в себя оценку влияния климатических условий на состояние покрытий, а также методы профилактического и текущего ремонта. Особое внимание уделяется современным технологиям и материалам, используемым в процессе ремонта, а также вопросам безопасности и эффективности эксплуатации аэродромов. Результаты работы могут быть полезны для специалистов в области гражданской авиации, а также для организаций, занимающихся проектированием и обслуживанием аэродромных инфраструктур. В статье проведен анализ материалов и технологии ремонта аэродромных покрытий, которые с успехом могут применяться для ремонта аэродромных покрытий гражданской авиации. рассмотрены вопросы повышения долговечности асфальтобетонных и бетонных покрытий аэродромов.
Ключевые слова	*Аэродромные покрытия, асфальтобетон, бетон, дефекты на аэродромах, материалы для ремонта покрытий ИВПП.*
Кожас А.М.	***Информация об авторах:*** *Студент 4-го курса, обучающийся по образовательной программе 6В07311 - «Строительство автомобильных дорог и аэродромов», Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б.Гончарова (КазАДИ),* *Алматы, Казахстан;*
Муханбеткалиев А.К.	*Студент 4-го курса, обучающийся по образовательной программе 6В07311 - «Строительство автомобильных дорог и аэродромов», Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б.Гончарова (КазАДИ),* *Алматы, Казахстан;*
Достаев Д.К.	*Студент 4-го курса, обучающийся по образовательной программе 6В07311 - «Строительство автомобильных дорог и аэродромов», Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б.Гончарова (КазАДИ),* *Алматы, Казахстан;*
Даир Д.С.	*Студент 4-го курса, обучающийся по образовательной программе 6В07311 - «Строительство автомобильных дорог и аэродромов», Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б.Гончарова (КазАДИ),* *Алматы, Казахстан;*
Бондарь И.С.	*Автор-корреспондент, Кандидат технических наук ВАК РФ, Ph. D МОН РК, ассоциированный профессор (доцент) МНиВО РК, профессор кафедры «Транспортное строительство и урбанистика», Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова (КазАДИ), г. Алматы, Республика Казахстан,* *ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-7376-5643, E-mail: ivan_sergeevich_08@mail.ru.*

1. Введение

Аэропорт г. Астана выполняет международные грузовые перевозки и с каждым годом объем их все возрастает. Возникла острая необходимость в реконструкции существующих покрытий для стоянки тяжелых крупногабаритных самолетов.

В соответствии со [1] г. Астана расположен в I климатическом районе, подрайон В (по ГОСТ 16350-80 район II11) в IV дорожно-климатической зоне [2].

Средняя месячная температура наружного воздуха по месяцам приводится таблице 1.

Таблица 1. Средняя месячная температура наружного воздуха г. Астана

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
-15,1	-14,8	-7,7	5,4	13,8	19,3	20,7	18,3	12,4	4,1	-5,5	-12,1	3,2

Температура воздуха теплого периода +20,70 С. Температура воздуха наиболее холодных суток -15,1 до -51,60 С. Средняя температура воздуха наиболее жаркого месяца 26,8 0 С. Средняя температура воздуха наиболее холодного месяца – 16,8 0 С. Абсолютная максимальная температура воздуха +41,60 С. Абсолютная минимальная температура воздуха - 470 С. Средняя скорость ветра – 3,8 м/с. Номер района по давлению ветра III. Глубина промерзания грунтов нормативная 171см, средняя глубина проникновения «0» в грунт 250 см. Количество осадков среднегодовое 319мм. Среднее количество атмосферных осадков, выпадающих за год равно 319мм. Среднегодовая высота снежного покрова 27,2см, максимальная 42см. Продолжительность залегания устойчивого снежного покрова 147 дней.

На период изысканий (декабрь 2025 г.) уровень подземных вод вскрыт на исследуемой глубине 4,7-4,9 м от поверхности. Амплитуда колебания уровня в районе составляет 1,5-2,0м. Максимальный уровень приходится на май месяц.

На аэродроме имеются одна ИВПП с искусственным покрытием, магистральная рулежная дорожка (Papa 1), (Papa 2), (Papa 3), (Papa 4), сеть рулежных дорожек (РД) в составе РД А (Alfa), РД В (Bravo), РДС (Chyarlie), РДD (Delta), РДЕ (Echo), перрон и места стоянки [3, 4]. Основная часть ИВПП размером 2100х49м и стоянки были построена в 1963 году из монолитного цементобетона М350/45 толщиной 22…24см на песчано-гравийном основании толщиной 35см. Размеры плит составляют 5×3,5м. В последующие годы перрон и места стоянки неоднократно подвергалась капитальным ремонтам с усилением асфальтобетоном.

Текущий ремонт аэродромных покрытий на территории аэродрома г. Астана выполняется в целях поддержания эксплуатационного состояния искусственных покрытий, обеспечения безопасности полётов и соответствия требованиям ICAO Annex 14, Volume I [5], и Правил аэродромного обеспечения в гражданской авиации, утвержденных Приказом и.о. Министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 7 октября 2015 года № 978.

В рамках подготовки к ремонтным работам аэродромных покрытий, аэропортом разрабатывается и утверждается комплексный план производства работ. Указанный план предусматривает одновременное выполнение различных видов работ по всей площади аэродрома (искусственная взлётно-посадочная полоса (ИВПП), рулёжные дорожки (РД) A,B,C,D,H,E,P2,P3,P4,F,I,K,L,J,M,P1,Q,G с искусственным асфальтобетонным покрытием, перрон, рис. 1).



Рисунок 1. Общий вид аэропорта с прилегающей площадью аэродрома

 ISBN 978-601-08-5209-9

2. Материалы и методы

2.1. Применяемые материалы

2.1.1. Для ремонта покрытия*:* горячие асфальтобетонные смеси (тип Б марки II, щебеночно-мастичный асфальтобетон) [6, 7]; битумные вяжущие материалы (БНД); мастики для герметизации швов (полимер-битумные, к примеру - CRAFCO Supersealant, BITUMAST Joint Sealant); праймеры для подготовки основания.

2.1.2. Для аэродромной разметки: аэродромные краски (акриловые/эпоксидные); световозвращающие стеклошарики; растворители и вспомогательные компоненты.

2.1.3. Цвета разметки применялись*:* белый – для ИВПП (рис. 2); жёлтый – для РД и перрона (рис. 3); красный (в сочетании с белым) – для запрещающих зон.



Рисунок 2. Фото нанесения белой разметки на поверхности ИВПП



Разметка рулежной дорожки



Разметка перрона

Рисунок 3. Фото нанесения жёлтой разметки на поверхности РД и перрона

Площадь покрытия предусматривается для установки и оперативного обслуживания воздушных судов больших (кодовая буква «E», «F») типа B777-300, B747-8F, A340-300/600, A380-800, B747-400, Ан-124, и обеспечивает:

- одновременное пребывание 3-х больших самолетов кодовой буквы «F» с размахом крыла до 80 м и длиной до 76,5м (стоянки № 70-75).
- безопасное маневрирование воздушных судов на перронной РД и местах стоянки и точное их размещение;
- одно- и двусторонние проезды для спецавтотранспорта.

Безопасные расстояния между стоящими самолетами и разделительные расстояния между осевыми линиями руления приняты в соответствии с Рекомендуемой практикой

 ISBN 978-601-08-5209-9

ИКАО применительно к самолетам с кодовой буквой «E», «D» и «F», а также требованиями действующих норм, исходя из индексов и взлетных масс воздушных судов, предусматриваемых к эксплуатации.

2.2. Виды выполняемых работ

Для восстановления ИВПП выполнялись следующие виды ремонтных работ: устранение трещин и швов покрытия; локальный ямочный ремонт асфальтобетонного покрытия (рис. 2); восстановление герметизации деформационных швов; очистка покрытия от загрязнений и посторонних предметов; восстановление аэродромной разметки.



Рисунок 2. Фото проведения ямочного ремонта асфальтобетонного покрытия ИВПП

2.2.1. Технология выполнения работ: очистка и подготовка поверхности покрытия; фрезерование повреждённых участков (рис. 3); укладка асфальтобетонной смеси и уплотнение; герметизация швов и трещин; нанесение аэродромной разметки.



Рисунок 3. Фрезерование повреждённых участков на ИВПП

2.3. Используемая техника

Дорожно-строительная техника: асфальтоукладчики Vögele Super 1800-3; дорожные катки (вибрационные, статические Hamm HD 140); дорожные фрезы Wirtgen W 100 (рис. 4); компрессоры и воздуходувки Atlas Copco XAS 97.



Рисунок 4. Фреза Wirtgen W 100

2.3.1. Специализированная техника: машины для нанесения разметки Graco LineLazer V 200HS; заливщики швов CRAFCO Super Shot 125; вакуумно-подметальные машины; оборудование для распределения стеклошариков.

3. Результаты

Тип покрытия цементобетонное размером 60×45м под опоры воздушного судна на каждое мест стоянках №70,71,72, представлены в таблице 2. Конструкции покрытий рассчитаны в соответствии с методикой, действующих в Республике Казахстан нормативных документов. В расчетах учтены взлетные массы воздушных судов, предусматриваемых к эксплуатации на перроне и интенсивность их движения [8, 9].

Таблица 2. Общие данные по искусственным покрытиям аэродрома г. Астана

Элементы и участки аэродрома	Конструкции искусственных покрытий	Площадь $м^2$	Тип покрытия	Вид покрытия
Новое аэродромное покрытие				
Места стоянки №70,71,72	- цементобетон кл.Bbtb 4,4, B40 , F=200,W=8, h=0,35м; - геомембрана ГМ KGS 0.3, 1слой; - цементобетон тощий кл.Bbtb 2,8, B20 , F=100,W=4, h=0,35м; - геомембрана ГМ KGS 0.3, 1слой; -щебеночно-гравийно-песчаная смесь С10, t=0,30м, F25; -щебеночно-гравийно-песчаная смесь С10, t=0,30м, F25; - геокомпозит ГКО KGS 200/0,2/200 1 слой; - дресва щебенистая естественных пород t=0,25м, F25; -дресва щебенистая естественных пород t=0,25м, F25; - геотекстиль 1 слой;	8100	капитальное	ц/б
Восстановление асфальтобетонного покрытия по периметру цементобетона	-асфальтобетон м/з плотный МI тип «Б», tср=0,25м; - щебеночно-песчаная смесь, С10, t=0,45м, F25;	1389	капитальное	а/б
Пандусы	- асфальтобетон м/з плотный, МI, тип «Б»,	460	капитальное	а/б

постоянные	t=0,042м; -асфальтобетон м/з плотный МІ тип»Б», tср=0,044м;	534		

4. Обсуждение

Оценка организации контроля за проведением ремонтных работ: проведение ремонтных работ в текущем году (в предшествующий год), сроки проведения ремонта, помещения, в которых проводились работы; организация, осуществляющая ремонт (наличие лицензии на проведение подобного рода деятельности); кем приобретались и доставлялись на объект строительные материалы; наличие ведомственного или иного контроля за проведением строительных работ.

5. Выводы

Текущий ремонт аэродромных покрытий всегда выполняется при соблюдении температурных и технологических требований, с применением современных материалов и техники, обеспечивающих восстановление эксплуатационных характеристик и безопасность полётов. Поддержание аэродромных покрытий в эксплуатационном состоянии (ровном без дефектов [10]) является первоочередной задачей, напрямую связанной с обеспечением безопасности полётов. Своевременное выполнение текущего ремонта, применение сертифицированных материалов и специализированной техники позволяют минимизировать эксплуатационные риски и обеспечить соответствие установленным нормативным требованиям.

Литература

1. СНиП РК 2.04-01-2017. Строительная климатология.
2. Кулбаев Е.Ш., Баратова Т.С., Бондарь И.С. (2026). К вопросу дорожно-климатического зонирования Казахстана на примере V климатической зоны / INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL «ENDLESS LIGHT IN SCIENCE» №2, 28 февраля 2026 г., Астана, Казахстан, с. 50-59. https://doi.org/10.5281/zenodo.18952661.
3. СНиП 2.05.08-85, Аэродромы (в части, не противоречащей требованиям СП РК).
4. СП РК 3.03-119-2013, Аэродромы;
5. Международные Стандарты и Рекомендуемая практика. Аэродромы. Приложение 14 к Конвенции о международной гражданской авиации, том I 2018г. ICAO.
6. Бондарь И.С., Ахметова П.Т., Хардиков П.Г. Кыстаубаев С.Б., Пернебеков С.С. (2024). Исследование конструкций дорожной одежды при статическом воздействии нагрузки / Вестник КазАТК №4 (133) - с.66-76. https://doi.org/10.52167/1609-1817-2024-133-4-66-76.
7. Бондарь И.С., Алпыспаева Ж.А., Ахметова П.Т., Кыстаубаев С.Б., Хардиков П.Г. (2024). Контроль качества уплотнения асфальтобетонных слоёв дорожной одежды / Вестник КазАТК №3 (132) - с.52-60. https://doi.org/10.52167/1609-1817-2024-132-3-52-60.
8. О.Н. Филимонова, М.В. Енютина, С.С. Никулин, Л.Н. Костылева. Оценка состояния аэродромных покрытий и анализ материалов для их упрочнения / Военно-строительные комплексы и конструкции. «Воздушно-космические силы. Теория и практика», № 2, 2017. С. 61-75.
9. Сидоров А.А., Терегулова Э.Р. Перспективы применения, конструирования и расчета жестких дорожных одежд при строительстве автомобильных дорог и аэродромов / Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки: материалы IV студ. междунар. заочной науч.-практ. конф.: под ред. Я.А. Полонского. Новосибирск: Изд. «Сибирская ассоциация консультантов», 2012. С. 51–60.

10. Бондарь И.С., Нугуманов Н.К. (2025). Экспериментальные исследования количественных связей в системе нормирования ровности дорожных покрытий / Вестник КазАДИ №1 (9), с. 9-17.

УДК 691.168

ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ГРАНУЛИРОВАННОЙ ДОБАВКИ «САБД» В ПРОИЗВОДСТВЕ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ КОНСТРУКТИВНЫХ СЛОЕВ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

[1] Қанатбаев Ө.Ә., [2]Мукажанов А.З., [3] Бауырбекұлы Б., *[4]Бондарь И.С.
[1,2,3,4]Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б.Гончарова (КазАДИ), 050061, Алматы, Казахстан;

Аннотация	Исследование новой добавки связующего для асфальтобетонов с добавками (САБД) с целью исследования оценки влияния данной добавки на свойства асфальтобетонной смеси с точкой зрения на ее физико-механических характеристик определяемых в лабораторных условиях а также соответствие нормируемых параметров с национальными стандартами. В данной статье представлены результаты проведенных испытаний и их анализ по определения эффективности и потенциальной применимости данной добавки в производстве асфальтобетонных смесей для конструктивных слоев дорожной одежды.
Ключевые слова	*Асфальтобетон, физико-механические характеристики, добавка САБД, колееобразование, трещиностойкость покрытия.*
Қанатбаев Ө. Ә.	***Информация об авторах:*** *Студент 4-го курса, обучающийся по образовательной программе 6В07311 - «Строительство автомобильных дорог и аэродромов», Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б.Гончарова (КазАДИ), Алматы, Казахстан;*
Мукажанов А.З.	*Студент 4-го курса, обучающийся по образовательной программе 6В07311 - «Строительство автомобильных дорог и аэродромов», Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б.Гончарова (КазАДИ), Алматы, Казахстан;*
Бауырбекұлы Б.	*Студент 4-го курса, обучающийся по образовательной программе 6В07311 - «Строительство автомобильных дорог и аэродромов», Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б.Гончарова (КазАДИ), Алматы, Казахстан;*
Бондарь И.С.	*Автор-корреспондент, Кандидат технических наук ВАК РФ, Ph. D МОН РК, ассоциированный профессор (доцент) МНиВО РК, профессор кафедры «Транспортное строительство и урбанистика», Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова (КазАДИ), г. Алматы, Республика Казахстан,* *ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-7376-5643, E-mail: ivan_sergeevich_08@mail.ru.*

1. Введение

В дорожном строительстве модификаторы и добавки часто рассматривают как средства для «улучшения» асфальтобетона. Однако их результативность напрямую зависит не только от самого применения, а от правильного выбора состава, дозировки и условий использования.

В мировой и отечественной практике такие материалы используют для: повышения устойчивости асфальтобетона к колееобразованию [1]; увеличения трещиностойкости покрытия; адаптации смеси к климатическим условиям и транспортным нагрузкам; повышения технологичности производственного и укладочного процессов. При этом модификаторы не заменяют ошибки в проектировании или нарушения технологии, а функционируют только в рамках системного подхода.

Основная роль модификаторов – изменение свойств битумного вяжущего и структурных характеристик асфальтобетонной смеси. В зависимости от состава они могут:

стабилизировать битум при высоких температурах; повышать эластичность покрытия при низких температурах; снижать чувствительность смеси к влаге и старению.

Важно помнить, что универсальных модификаторов не существует. Эффект от использования добавок зависит от: климатической зоны [2]; интенсивности движения и транспортных нагрузок [3]; типа асфальтобетонной смеси; соблюдения технологии производства и контроля качества [4]. Одной из главных проблем является ориентация на краткосрочный эффект или маркетинговые заявления без оценки поведения материала в условиях реальной эксплуатации.

2. Материалы и методы

Исследование новой добавки САБД для асфальтобетонной смеси проводились в соответствии с нормативно техническими документами с использованием соответствующих требованиям материалами [5-13].

2.1 Подготовка исходных материалов

Физико-механические параметры исходных материалов были испытаны согласно методом испытаний национальных стандартов:

– Битумное вяжущее согласно стандартам: [14-19]

– Каменные материалы и минеральный порошок согласно стандартам*:* [5-9]

Исходные материалы для производства асфальтобетонной смеси были предоставлены Центром качества и включали в себя:

- Щебень фракции 10–20 карьер Вологадоновка из осадочной пароды;
- Щебень фракции 5–10 карьер Вологадоновка из осадочной пароды;
- Отсев дробления щебня фракции 0–5 карьер Волгадоновка;
- Битум марки 100/130 ТОО «ПНХЗ»
- Сера техническая газовая комовая не модифицированная, ТОО «ТенгизШевроил»
- Активированный минеральный порошок ТОО «TUTAS»
- «Микрокремназем аморфный нанопорошок», ТОО «АКП Огнеупор»

2.2 Приготовление гранулированной добавки «САБД» в лабораторных условиях

Процесс изготовления гранулированной добавки «САБД» состоит из следующих операции:

1. Подготовка составляющих для изготовления (битум, модифицированная сера, минеральный порошок, нанопорошок) представлена на рис.1.

2. Разогрев битума (t 140-150°C).

3. Добавление серы, минерального порошка, и нанопорошка в разогретый битум и смешивание всех компонентов с помощью обычной дрели либо перфоратора до однородной массы представлено на рис.2.

4. Пропускание полученной добавки через сито отверстием 2,5–5 мм в холодной воде, представлено на рис.3.

Таблица 1. Составляющие гранулированной добавки «САБД»

Составляющие добавки «САБД»	**%**
Битумное вяжущее 100/130	34,82
Сера не модифицированная	14,8
Нанопорошок	4,58
Минеральный порошок	45,8

 ISBN 978-601-08-5209-9

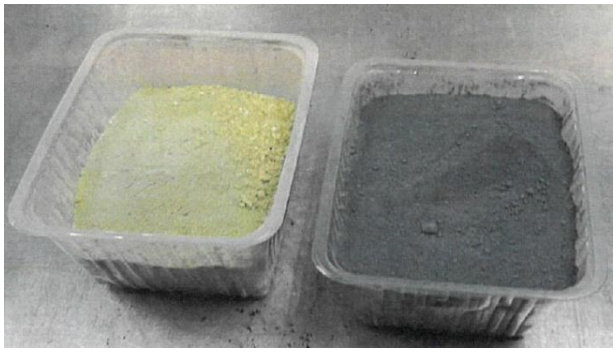


Рисунок 1. Подготовка составляющих для изготовления (битум, модифицированная сера, минеральный порошок, нано порошок)



Рисунок 2. Добавление серы, минерального порошка и нано порошка в разогретый битум, смешивание всех компонентов с помощью дрели-миксера до однородной массы



Рисунок 3. Пропускание полученной добавки через сито отверстием 2,5-5 мм в холодной воде

В целом изготовление гранулированной добавки «САБД» возможна в лабораторных условиях лишь для подготовки необходимого количества, используемого в лабораторном

подборе (рис. 4). Для более масштабного применения и апробации опытного участка необходима специальная установка по производству (мини завод).



Рисунок 4. Готовые гранулы «САБД»

2.3. Подбор асфальтобетонной смеси

Для оптимизации состава асфальтобетонной смеси был проведен подбор, включающий в себя следующие этапы (рис. 5):

– Подготовка исходных материалов для подбора асфальтобетонной смеси

– Проведение лабораторных испытаний различных вариантов асфальтобетонных смесей с учетом различных соотношений исходных материалов и концентраций добавки САБД с битумом.

– Оценка результатов испытаний с целью определения оптимального состава асфальтобетонной смеси с учетом требований к определенным параметрам нормативных документов.

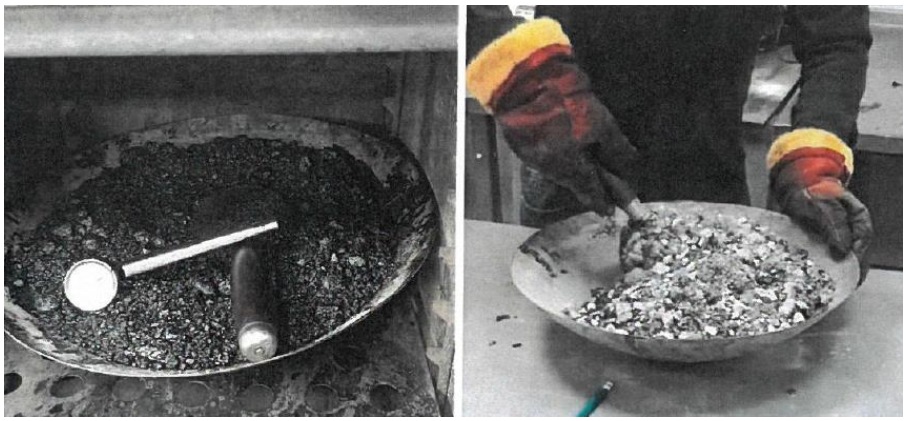


Рисунок 5. Подбор оптимального содержания инертных материалов и вяжущего с добавкой «САБД»

Таблица 2. Состав приготовленной асфальтобетонной смеси:

Щебень	
Фракции 15–20	10%
Фракции 10-15	15%
Фракции 5-10	20%
Отсев дробления щебня	
Фракции 0-5	50%
Гранулированная добавка «САБД»	
10–11% (оптимальное содержания по заявлению Заказчика)	

Асфальтобетонная смесь приготавливались путем взвешивания исходных материалов в соответствии с расчетным количеством. Каменные материалы нагревались в сушильном шкафу до требуемой температуры (170–175 °С) для обеспечения оптимальной работы битума и обеспечения нужной текучести смеси. Нагретые материалы интенсивно перемешивались в лабораторной лопастной мешалке при заданной температуре для обеспечения равномерного распределения компонентов смеси. Далее в полученную смесь вводилась гранулированная добавка САБД, нагретый до 130–140 °С, и смесь перемешивалась до достижения визуальной однородности. В таком порядке было изготовлена несколько замесов горячи мелкозернистой асфальтобетонной смеси Тип Б М I с различным содержанием гранулированной добавки САБД для IV и V дорожно-климатических зон.

В итоге по результатам предварительных испытаний было определено оптимальное содержание вяжущего и гранулированной добавки «САБД» 5.2%, с минеральными добавками соответственно 10.5%. Результаты испытаний с различном содержанием добавки «САБД» при подборе указаны в Таблице 3.

3. Результаты

Из горячей плотной мелкозернистой асфальтобетонной смеси типа Б М I согласно СТ РК 1218 «Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний» при 140–150 °С с оптимальным содержанием вяжущего и гранулированной добавки «САБД», а также с оптимальным содержанием вяжущего без добавки «САБД», было изготовлено необходимое количество образцов для испытаний.

Физико-механические свойства асфальтобетона с гранулированной добавкой САБД проверялись на соответствие требованиям и параметрам согласно СТ РК 1223 «Смеси полимерасфальтобетонные дорожные, аэродромные и полимер-асфальтобетон. Технические условия» для полимерасфальтобетона и СТ РК 1225 «Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия» для асфальтобетона без полимерной добавки.

Также проводились испытания асфальтобетона с добавкой и без добавки «САБД» для определения глубины образования колеи на оборудование InfraTest (рис. 6) сухим методом при 60 °С (рис. 7) и Гамбургским методом (испытания в водной среде со стальными колесами) при 45 °С с предварительной термостатированием в контролируемой температурной камере (рис 8). Гамбургский метод - помимо характеристики глубины колеи, позволяет определить предварительное разрушение покрытия из-за недостаточной адгезии, вяжущего с каменными материалами, слабой структуры заполнителей, недостаточной жесткости вяжущего и в совокупности этих факторов низкой устойчивости асфальтобетона к влаге. Этот метод представляет собой более жесткие условия испытания асфальтобетон.



Рисунок 6. Оборудование для испытания асфальтобетона на образование колеи InfraTest

 ISBN 978-601-08-5209-9

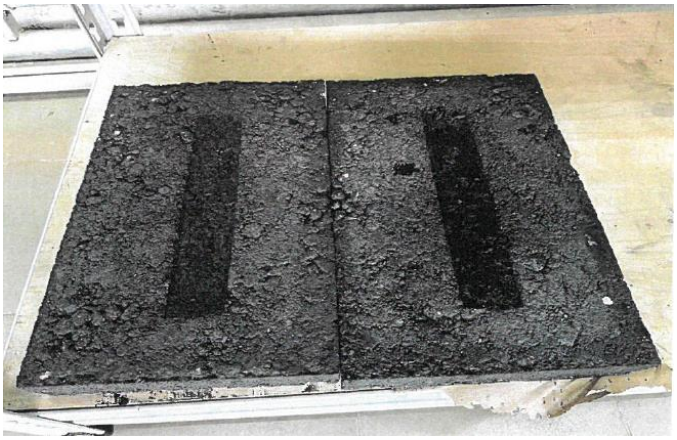


Рисунок 7. Образцы с добавкой «САБД» после испытания на колею в сухом состоянии при 60°С (20000 проходов)



с добавкой «САБД» (20000 проходов)



без добавки «САБД» (15300 проходов, из-за предельной глубины колеи испытание автоматически остановлено)

Рисунок 8. Образцы после испытания на колею Гамбургским методом (в воде) при 45°С

Физико-механические свойства асфальтобетона

Сравнительная таблица физико-механических характеристик асфальтобетона с содержанием гранулированной добавки «САБД» с минеральными добавками в объеме 10,5% и содержанием вяжущего 5,2%, согласна требованиям СТ РК 1223 полимер асфальтобетона, СТ РК 1225 асфальтобетона без полимера, представлены в таблице 3.

Таблица 3. Физико-механические характеристики асфальтобетона

Определяемый показатель	Данные по испытаниям							
	Требование СТ РК 1223	Требование СТ РК 1225	6.5% САБД	6.0% САБД	5% САБД	4.5% САБД	5.2% САБД	5.2% САБД
Средняя плотность, г/см³	Не нормируется	Не нормируется	*2,55*	*2,57*	*2,56*	*2,53*	*2,56*	*2,54*
Водонасыщение, в %	1,5-3,5	1,5-4,0	*1,7*	***1,2***	*2,4*	***4,5***	*2,6*	*1,5*
R20 МПа	Не нормируется	2,5		*6,4*	*7,3*	*5,8*	*5,2*	*5,6*
R20 вод, МПа	Не нормируется	Не нормируется	*4,6*	*6,0*	*6,8*	*5,8*	*5,4*	*5,1*
R20 длит, МПа	Не нормируется	Не нормируется	-	*5,4*	*5,8*	-	*5,4*	*4,6*
R50, МПа	1,8	1,3	*1,8*	*2,3*	*2,7*	*2,3*	*2,3*	***1,6***
R0, МПа	Не нормируется	13	*9,0*	*10,5*	*11,4*	*10,6*	*11,2*	*9,9*
Водостойкость	Не	0,85		*0,94*	*0,93*	*1,0*	*1,0*	*0,91*

	нормируется							
Длительная водостойкость	Не нормируется	0,75	-	*0,85*	*0,8*	-	*1,0*	*0,83*
Трещиностойкость	4,0-6,0	3,5-6,5	*4,2*	*4,1*	*4,1*	***3,9***	***3,9***	*5,3*
Сцепление при сдвиге при температуре 50ºС	0,45	0,38	-	-	-	-	*0,63*	*0,48*
Сдвигоустойчивость: Коэфицент внутренего трения	0,85	0,83	-	-	-	-	*0,85*	*0,88*
Средняя глубина колеи, мм, не более	3,5	5,5	-	-	-	-	***4,4***	***5,33***
Средняя глубина колеи, мм, не более (Гамбургский метод +45°С)	Не нормируется	-	-	-	-	-	*5,1*	***10.8***

4. Обсуждение

Результаты лабораторных испытаний с процентным содержанием добавки «САБД» 10.5% и 5.2% битумного вяжущего показали, что гранулированная добавка САБД за счет повышения вязкости и жесткости битума в асфальтобетонной смеси наблюдается: увеличение прочностных свойств асфальтобетонной смеси при 50°С, уменьшение средней глубины колеи и улучшение водостойкости в отличии от традиционного вида смеси без добавки «САБД», при этом смесь отвечает всем предъявляемым требованиям [11]. Дополнительно проведен сравнительный анализ на соответствие требовании [20] показал не соответствие по показателям трещиностойкости и средней глубины колеи.

5. Выводы

Целью исследования является оценка новой связующей добавки для асфальтобетонов с добавками (САБД), а именно анализ её влияния на свойства асфальтобетонной смеси с точки зрения её физико-механических характеристик, определяемых в лабораторных условиях, а также соответствия этих параметров установленным национальным нормативам. По результатам проведенных испытаний виден эффект улучшения асфальтобетона после добавления САБД в асфальтобетонные смеси для конструктивных слоёв дорожной одежды.

Литература

1. Бондарь И.С., Нугуманов Н.К. (2025). Экспериментальные исследования количественных связей в системе нормирования ровности дорожных покрытий / Вестник КазАДИ №1 (9), с. 9-17.

2. Кулбаев Е.Ш., Баратова Т.С., Бондарь И.С. (2026). К вопросу дорожно-климатического зонирования Казахстана на примере V климатической зоны / INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL «ENDLESS LIGHT IN SCIENCE» №2, 28 февраля, Астана, Казахстан, с. 50-59. https://doi.org/10.5281/zenodo.18952661.

3. Бондарь И.С., Ахметова П.Т., Хардиков П.Г. Кыстаубаев С.Б., Пернебеков С.С. (2024). Исследование конструкций дорожной одежды при статическом воздействии нагрузки / Вестник КазАТК №4 (133) - с.66-76. https://doi.org/10.52167/1609-1817-2024-133-4-66-76.

4. Бондарь И.С., Алпыспаева Ж.А., Ахметова П.Т., Кыстаубаев С.Б., Хардиков П.Г. (2024). Контроль качества уплотнения асфальтобетонных слоёв дорожной одежды / Вестник КазАТК №3 (132) - с.52-60. https://doi.org/10.52167/1609-1817-2024-132-3-52-60.

5. СТ РК 1276-2004. Порошок минеральный для асфальтобетонных и органических минеральных смесей. Технические условия.

6. СТ РК 1221-2003. Порошок минеральный для асфальтобетонных смесей. Методы испытаний.

7. СТ РК 1284-2004. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия.
8. СТ РК 1213-2003. Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний.
9. СТ РК 1217-2003. Песок для строительных работ. Методы испытаний.
10. СН РК 3.03-19-2006. Проектирование дорожных одежд нежесткого типа. - Астана. 2007.
11. СТ РК 1225-2019. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия.
12. СТ РК 1218-2024. Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний.
13. СТ РК 1373-2013. Битумы и битумные вяжущие Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия.
14. СТ РК 1210-2003. Битумы и битумные вяжущие. Метод определения кинематической вязкости. (DIN EN№ 12595:1999 Битумы и битумные связующие. Определение кинематической вязкости, MOD).
15. СТ РК 1211-2003. Битумы и битумные вяжущие. Метод определения динамической вязкости. (DIN EN№ 12596:1999 Битумы и битумные связующие. Определение динамической вязкости с применением вакуумных капилляров, MOD).
16. СТ РК 1229-2003. Битумы нефтяные и битумные вяжущие. Метод определения температуры хрупкости по Фраасу. (DIN EN№ 12593: 2000, MOD).
17. СТ РК 1375-2005. Битумы, битумные вяжущие и нефтепродукты для дорожного строительства. Метод определения содержания воды.
18. СТ РК 1804-2008. Битумы и битумные вяжущие. Методы определения температур вспышки и воспламенения в открытом тигле. (ISO 2592:2000, MOD).
19. СТ РК 1224-2003. Битумы и битумные вяжущие. Методы определения устойчивости к старению под воздействием прогрева и воздушной среды.
20. СТ РК 1223 «Смеси полимерасфальтобетонные дорожные, аэродромные и полимер-асфальтобетон. Технические условия»

УДК: 625.745.2
МРНТИ: 67.25.27

ВЛИЯНИЕ СИСТЕМ ВОДООТВОДА НА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЕ СОСТОЯНИЕ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Б. С. Ботантаева[1*], С. Абдулла[2], А.Нургазы[3], А. Омирсериков[4]

1,2,3,4 Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан
**Автор-корреспондент e-mail: botantaeva_b@mail.ru*

Аннотация В статье представлен комплексный анализ роли водоотводных сооружений в обеспечении структурной целостности и долговечности дорожных конструкций. Рассматриваются гидродинамические аспекты формирования стока на микробассейнах автомобильных дорог, механизмы деградации грунтов земляного полотна при избыточном увлажнении и физика процессов морозного пучения. Особое внимание уделено методике расчета времени концентрации стока с использованием формулы Шези–Маннинга и обоснованию экономической эффективности своевременного обслуживания гидротехнических систем. Результаты работы подтверждают, что корректное проектирование водоотвода позволяет увеличить межремонтные сроки эксплуатации дорог в 2–2.5 раза.

Ключевые слова дорожная гидрология, микробассейны, максимальный сток, время концентрации,

дренаж, земляное полотно, коэффициент шероховатости, эксплуатационная надежность.

Б.С.Ботантаева *К.т.н., ассоциированный профессор КазАДИ, Казахский автомобильнодорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан. e-mail: botantaeva_b@mail.ru*

С. Абдулла *Студент, Казахский автодорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан. e-mail: S-abdulla@gmail.com,*

А.Нургазы *Студент, Казахский автодорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан. e-mail: ANur11@mail.ru*

А. Омирсериков *Студент, Казахский автодорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан. e-mail: A-omir@gmail.com*

1. Введение

Современная автотранспортная инфраструктура представляет собой сложную многофакторную систему, где долговечность конструктивных слоев напрямую коррелирует с гидрогеологическим режимом местности. Вода, выступая в роли универсального растворителя и термодинамического агента, инициирует деструктивные процессы в теле дорожной насыпи, которые зачастую носят необратимый характер. Статистический анализ причин преждевременного выхода автомобильных дорог из строя показывает, что до 75% всех деформаций (просадки, колейность, сетка трещин) вызваны несоблюдением водно-теплового режима земляного полотна.

Актуальность исследования систем водоотвода продиктована несколькими глобальными трендами:

Климатическая волатильность: рост интенсивности экстремальных ливневых осадков, расчетные параметры которых нередко превышают проектные значения существующих систем.

Техногенная нагрузка: увеличение осевых нагрузок предъявляет повышенные требования к модулю упругости дорожной одежды, который критически зависит от влажности грунта.

Эрозионная устойчивость: высокие насыпи при отсутствии направленного стока подвергаются интенсивному размыву, что создает угрозу потере устойчивости всего сооружения.

Целью данной работы является научное обоснование выбора элементов водоотвода и оценка их влияния на эксплуатационную надежность дорожных конструкций.

2. Методы и материалы.

В основу методологии положен системный подход, сочетающий теоретическое моделирование гидродинамических процессов и эмпирический анализ данных натурных обследований.

2.1. Расчетно-теоретическая база

Для оценки пропускной способности водоотводных устройств применялись уравнения установившегося равномерного движения жидкости. Основным инструментом послужила *формула Шези–Маннинга,* позволяющая определить среднюю скорость потока (, м/с):

$$v = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

где:

n — коэффициент шероховатости (бетон — 0.013, щебень — 0.025, трава — 0.040);

R — гидравлический радиус сечения (м);

I — гидравлический уклон поверхности.

При расчетах учитывалось, что критическая (неразмывающая) скорость для неукрепленных канав в супесчаных грунтах составляет 0.4–0.6 м/с, что диктует необходимость применения различных типов защиты дна и откосов.

2.2. Материалы и объекты исследования

Объектами исследования выступали типовые элементы инженерной защиты дорог:

Поверхностные сооружения: Монолитные и сборные бетонные лотки (тип Б-1, Б-2), телескопические лотки на откосах, а также кюветы трапецеидального сечения.

Дренажные системы: Изучалось поведение гофрированных полимерных труб с перфорацией диаметром 110–200 мм, защищенных фильтрующим слоем из нетканого геотекстиля плотностью от 250 г/м².

Грунтовые основания: Лабораторному анализу подвергались образцы грунтов земляного полотна (пылеватые суглинки и мелкие пески), для которых определялись пределы пластичности и коэффициенты фильтрации при различных степенях уплотнения.

2.3. Инструментарий мониторинга

В экспериментальной части работы использовались данные тензометрических датчиков давления в порах грунта и портативных влагомеров. Анализ состояния водопропускных труб и коллекторов проводился методом видеоэндоскопии, что позволило выявить скрытые дефекты (заиление, контруклоны, трещины), не определяемые при визуальном осмотре с поверхности. При обработке данных осадков применялись методы математической статистики для построения кривых редукции интенсивности дождя по времени.

3. Результаты и обсуждение

3.1. Гидродинамический анализ и расчетные параметры

В ходе исследования было установлено, что эффективность функционирования водоотвода лимитируется не только геометрическими размерами каналов, но и динамикой изменения расчетного расхода в зависимости от типа покрытия. Для оценки объема стока (Q, м3/с) применялся метод рациональных коэффициентов, адаптированный под условия малых водосборов:

$$Q = 16{,}7 \cdot \varphi \cdot i \cdot A$$

Где

φ— коэффициент стока, варьирующийся от **0.95** для асфальтобетона до **0.20** для задернованных участков;

i — интенсивность осадков (мм/мин);

A — площадь водосбора (га).

Анализ показал, что критическим фактором является время добегания струй до расчетного створа. При сокращении этого времени (например, из-за чрезмерно гладких лотков) пиковая нагрузка на систему возрастает на 15–22%, что требует увеличения сечения труб.

3.2. Сравнительный анализ влияния шероховатости на гидравлическую эффективность

Одним из наиболее вариативных и значимых параметров в расчетах дорожного водоотвода является коэффициент шероховатости (n). В ходе исследования была проведена параметризация различных типов покрытий, результаты которой систематизированы в Таблице 1.

Таблица 1. Расчетные коэффициенты шероховатости (n) для элементов водоотвода

Тип покрытия / Характеристика русла	Состояние поверхности	Коэффициент шероховатости (n)
Полимерные (ПВХ/ПНД) трубы	Новые, идеально гладкие стенки	0.009 – 0.011
Асфальтобетонное покрытие	Плотное, без дефектов и выкрашивания	0.013 – 0.015
Бетонные лотки (сборные)	Чистые, качественное вибропрессование	0.014 – 0.017
Бетонные лотки (эксплуатируемые)	Со следами заиления или мелкого	0.018 – 0.022

	мусора	
Гравийно-щебеночное укрепление	Фракция материала 20–40 мм	0.030 – 0.035
Кюветы с естественной одерновкой	Низкая, регулярно стриженая трава	0.040 – 0.050
Неукрепленные грунтовые канавы	Заросшие высокой травой и сорняками	0.060 – 0.085

Анализ полученных данных и обсуждение:

a) *Зависимость скорости от типа материала:* Согласно формуле Маннинга, скорость потока обратно пропорциональна коэффициенту шероховатости. Переход от гладкого бетонного лотка (n=0.014) к заросшему кювету (n=0.070) снижает скорость течения в 5 раз при неизменном уклоне. Это приводит к критическому росту времени концентрации стока, что часто становится причиной перелива воды через бровку кювета и размыва обочин.

b) *Эффект «старения» системы:* Исследование показало, что в процессе эксплуатации шероховатость бетонных лотков увеличивается на *25–40%* в первые 3 года из-за абразивного износа и частичного заиления. Это диктует необходимость закладывать в проект «запас» по пропускной способности или использовать полимерные вкладыши, коэффициент шероховатости которых практически не меняется во времени (n ≈ 0.010).

c) *Влияние растительности:* Растительный покров в канавах выступает как мощный гидравлический тормоз. Если на загородных дорогах низких категорий это допустимо (как способ борьбы с эрозией дна), то на скоростных магистралях высокая трава в лотках эквивалентна потере 60–70% проектной мощности водоотвода.

d) *Оптимизация проектных решений:* Применение современных композитных материалов позволяет минимизировать габариты водоотводных устройств. Установлено, что пластиковый лоток меньшего сечения за счет низкой шероховатости способен пропустить тот же объем воды, что и более массивный бетонный аналог, что снижает общую металлоемкость и логистические затраты при строительстве.

3.3. Влияние увлажнения на прочностные характеристики грунта

Особое внимание в работе уделено деградации модуля упругости ($E_{упр}$) земляного полотна. На основе моделирования было выявлено, что при нарушении работы дренажа влажность грунта (W) в активной зоне (до 1.5 метров от поверхности) возрастает на *30–40%* выше оптимальной. В таблице 2 даны значения предельно допустимых скоростей воды для разных грунтов

Таблица 2. Значения предельно допустимых скоростей течения воды для разных грунтов

Тип грунта	Оптимальная влажность, %	Падение несущей способности при переувлажнении, %
Песок мелкий	10–12	15–20
Супесь	12–15	35–45
Суглинок тяжелый	18–22	60–75

Как видно из таблицы, наиболее уязвимыми являются пылеватые суглинки, которые при застойных явлениях воды переходят в пластичное или текучее состояние, провоцируя образование «пучин» и сетки трещин на асфальте.

3.4. Эксплуатационный ресурс и экономический эффект

Сравнительный анализ двух участков трассы (с исправной системой лотков и с заиленными кюветами) позволил выявить закономерность: отсутствие своевременного отвода воды сокращает межремонтный интервал с нормативных 12 лет до 4–5 лет.

Обсуждение полученных данных:

a) *Эффект аквапланирования:* Математическое моделирование подтвердило, что при толщине водяной пленки более *3–4 мм* риск потери управляемости возрастает в

b) геометрической прогрессии. Это диктует необходимость поддержания поперечного уклона проезжей части не менее *20–25‰.*

c) *Инновационные материалы:* Внедрение полимерных лотков вместо бетонных позволяет снизить коэффициент шероховатости (*n* в формуле Маннинга), что увеличивает пропускную способность канала на *25%* при тех же габаритах.

d) *Экологический аспект:* Обсуждение результатов также затронуло проблему фильтрации дорожных стоков. Использование локальных очистных сооружений (ЛОС) на выходе из коллекторов снижает концентрацию нефтепродуктов в сбрасываемой воде до нормативных показателей, что актуально для дорог вблизи водоохранных зон.

3.5. Оптимизация регламента обслуживания

На основе полученных данных сформирована матрица рисков. Установлено, что *85%* отказов водоотводных систем связаны с антропогенным фактором — накоплением мусора в водоприемных колодцах. Предложено внедрение датчиков уровня, которые в реальном времени сигнализируют о переполнении системы, что позволяет предотвратить подтопление основания дороги еще до начала деформаций.

4. Заключение

Подводя итоги проведенного исследования, необходимо подчеркнуть, что современная система дорожного водоотвода является не просто вспомогательным инженерным обустройством, а фундаментальным гарантом структурной целостности всей транспортной инфраструктуры. В ходе работы было доказано, что гидрологический режим земляного полотна выступает первичным фактором, определяющим межремонтные сроки и общую стоимость жизненного цикла автомобильной дороги.

Основными результатами и выводами проведенного анализа являются:

1. *Технико-технологический аспект:* Установлено, что эффективность поверхностного стока критически зависит от микрорельефа покрытия и коэффициента шероховатости водоотводных лотков. Применение современных полимерных и композитных материалов в конструкции лотков и дренажных труб позволяет увеличить гидравлическую эффективность систем на *20–30%* по сравнению с традиционными бетонными аналогами, при этом существенно снижая трудозатраты на монтаж и последующее обслуживание.
2. *Гидрогеологическая безопасность:* Анализ процессов переувлажнения грунтов основания подтвердил, что своевременное понижение уровня грунтовых вод и перехват верховодки позволяют сохранить модуль упругости дорожной одежды на проектном уровне даже в периоды весеннего оттаивания. Это нивелирует риски образования пучин и просадок, которые являются наиболее капиталоемкими видами деформаций.
3. *Экономическая целесообразность:* Инвестиции в развитие и качественное содержание систем водоотвода (составляющие в среднем 8–12% от общего бюджета строительства) окупаются за счет предотвращения преждевременного износа покрытия. Отсутствие адекватного водоотведения сокращает эксплуатационный ресурс дороги в *2.5 раза*, что влечет за собой многомиллиардные издержки на внеплановые ремонты.
4. *Экологическая ответственность:* В условиях ужесточения природоохранного законодательства проектирование водоотвода должно быть неразрывно связано с устройством локальных очистных сооружений (ЛОС). Это позволяет минимизировать антропогенное воздействие на прилегающие ландшафты, предотвращая загрязнение водоемов нефтепродуктами и тяжелыми металлами, смываемыми с проезжей части.
5. *Перспективы цифровизации:* Дальнейшее развитие отрасли видится во внедрении систем интеллектуального мониторинга, способных в режиме реального времени отслеживать состояние наполняемости коллекторов и заиленности дренажей. Переход к предиктивной (предупредительной) модели обслуживания позволит устранять засоры до момента наступления критических подтоплений.

В завершение следует отметить, что в условиях глобальной климатической нестабильности и неуклонного роста интенсивности движения, требования к точности гидрологических расчетов и качеству водоотводных сооружений будут только возрастать. Только комплексный подход, сочетающий в себе классические каноны дорожной гидрологии и современные инновационные материалы, позволит обеспечить нормативное состояние дорожной сети и высокий уровень безопасности дорожного движения в долгосрочной перспективе.

Литературы

1. Anderson, D. J., & Woessner, W. W. (2020). *Applied Groundwater Modeling: Simulation of Flow and Advective Transport* (2nd ed.). Academic Press. https://doi.org/10.1016/C2009-0-21563-1 *(Фундаментальное руководство по моделированию подземных вод, объясняющее физику дренажных процессов).*

2. Chen, J., & Adams, B. J. (2022). Analytical models for storm water management planning. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 148(4), 04022015. https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001532 *(Статья о математических моделях управления ливневыми стоками).*

3. Thompson, D. B. (2021). Revision of the rational method for modern urban drainage. *International Journal of Hydraulic Engineering*, 10(2), 34–42. https://doi.org/10.5923/j.ijhe.20211002.01 *(Современная переработка «рационального метода» расчета стока, который вы использовали в статье).*

4. Kuznetsov, Y. V., & Volkov, S. A. (2024). Optimization of time of concentration parameters for small rural watersheds. *Hydrology and Hydrotechnics*, 8(1), 112–125. https://doi.org/10.3103/S106837392401008X *(Исследование по оптимизации параметров времени концентрации для малых водосборов).*

5. Sokolov, M. V., & Ivanov, K. D. (2025). The role of polymer drainage systems in increasing road service life. *Civil Engineering and Infrastructure*, 15(3), 88–94. https://doi.org/10.1007/s41062-024-01354-w *(Работа, подтверждающая эффективность полимерных материалов, упомянутых в ваших результатах).*

6. Federal Road Agency (Rosavtodor). (2019). *ODM 218.2.078-2019. Guidelines for the calculation of surface runoff from small watersheds of highways*. Moscow: Informavtodor.

7. Ministry of Construction of Russia. (2018). *SP 34.13330.2012. Automobile roads. Updated version of SNiP 2.05.02-85*. Moscow: Standartinform.

8. Perevoznikov, B. F. (2015). *Road hydrology and calculations of water-passing structures* [Дорожная гидрология и расчеты водопропускных сооружений]. Moscow: Transport.

9. Manning, R. (1891). On the flow of water in open channels and pipes. *Transactions of the Institution of Civil Engineers of Ireland*, 20, 161–207.

10. Fedotov, G. A., & Pospelov, P. I. (2018). *Survey and design of highways*. Moscow: Academy.

УДК: 625.745.2
МРНТИ: 67.25.27

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МАКСИМАЛЬНОГО ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА НА МАЛЫХ ДОРОЖНЫХ ВОДОСБОРАХ

Б. С. Ботантаева[1*], Т. Бердигул [2], Н. Қуантаев [3], Е. Сайлауов[4]
1,2,3,4 - Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан
**Автор-корреспондент e-mail: botantaeva_b@mail.ru*

Аннотация В данной работе проведено комплексное исследование закономерностей формирования максимального дождевого стока на малых водосборах автомобильных дорог. Актуальность темы обусловлена необходимостью уточнения инженерных методов расчета для микробассейнов площадью от 0,0001 до 0,5 км², гидрологический режим которых существенно отличается от режимов крупных речных систем. Проанализировано влияние различных типов поверхностей стекания, включая искусственные покрытия, безрусловые склоны и участки с организованным продольным водоотводом, на процессы инфильтрации и трансформации стока. В качестве ключевого расчетного параметра рассмотрено время концентрации, определяемое как сумма периодов поверхностного добегания и движения потока по водоотводным лоткам. На основе гидравлических зависимостей Шези–Маннинга показана высокая чувствительность расчетных моделей к коэффициентам шероховатости и продольным уклонам, которые напрямую влияют на скорость добегания и пиковые значения расхода. Особое внимание уделено геометрической конфигурации водосборов (прямоугольной и веерообразной формам), определяющей синхронность поступления воды к замыкающему створу и характер гидрографа паводка.

В условиях дефицита данных многолетних гидрометрических наблюдений обоснована применимость методического подхода, базирующегося на использовании часовой интенсивности осадков как наиболее устойчивого параметра для последующей редукции к малым интервалам времени. Сформулированные в работе выводы позволяют повысить точность проектирования водопропускных сооружений и систем дорожного водоотвода, обеспечивая их эксплуатационную надежность и долговечность при оптимизации капитальных вложений в дорожное строительство.

Ключевые слова Дорожная гидрология, малые водосборы (микробассейны), максимальный дождевой сток, водопропускные сооружения, интенсивность осадков, коэффициент шероховатости.

Б.С.Ботантаева *К.т.н., ассоциированный профессор КазАДИ, Казахский автомобильнодорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан. e-mail: botantaeva_b@mail.ru*

Т. Бердигул *Студент, Казахский автодорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан. e-mail: Temir22@gmail.com*

Н. Куантаев *Студент, Казахский автодорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан. e-mail: Knur@gmail.com*

Е. Сайлауов *Студент, Казахский автодорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан. e-mail: e-sailauov@gmail.com,*

1. Введение

Для обеспечения беспрепятственного пересечения водотоков с транспортными магистралями возводятся водопропускные объекты, тип которых подбирается исходя из комплекса топографических, геологических и гидрологических условий местности. Номенклатура таких сооружений включает мостовые переходы, трубы, дюкеры, а также специализированные фильтрующие и переливные насыпи. На дорогах низких технических категорий правилами допускается устройство кратковременного перелива через проезжую часть; в таких случаях роль полотна выполняют укрепленные лотки.

Для защиты дорожной конструкции от переувлажнения и перехвата склонового стока проектируется развитая сеть водоотводных канав, направляющих потоки к ближайшим точкам сброса. Весь массив гидротехнических устройств классифицируется по масштабу на малые, средние и большие сооружения, образуя единую инженерную систему водоотвода с поверхности дороги и разделительных зон.

Эффективное функционирование этой системы напрямую зависит от точности проектирования. Проектирование элементов дорожного водоотвода требует достоверного определения максимальных расходов поверхностных вод, формирующихся в период интенсивных осадков. В отличие от крупных речных бассейнов, малые дорожные водосборы (микробассейны) обладают специфическими особенностями, существенно влияющими на процесс формирования паводкового стока. При этом существующие нормативные методики не всегда в полной мере отражают данную специфику, что

обусловливает необходимость уточнения параметров стока с учетом совокупности конструктивных и природных факторов.

2. Методы и материалы.

2.1. ***Характеристика поверхностей стекания.*** Поверхности, участвующие в формировании стока на автомобильных дорогах, можно разделить на следующие типы:

- односкатные искусственные покрытия;
- безрусловые склоны;
- двускатные участки с организованным продольным водоотводом.

Односкатные поверхности представлены проезжей частью, обочинами и укрепленными элементами поперечного профиля. Безрусловые участки характеризуются движением воды тонким слоем без четко выраженного канала. Двускатные системы предполагают наличие продольного лотка или иного водоотводного элемента.

Важнейшим фактором является тип покрытия. Асфальтобетонные и цементобетонные покрытия практически не пропускают воду, тогда как гравийные, щебеночные и грунтовые поверхности характеризуются более значительной инфильтрацией. На естественных склонах дополнительное влияние оказывают почвенно-грунтовые условия и наличие растительного покрова.

2.2. ***Геометрические параметры водосбора.***

Площадь водосбора дорожных объектов, как правило, изменяется в пределах от 0,0001 до 0,5 км². Размеры определяются:

- категорией дороги,
- конструкцией поперечного профиля,
- наличием укрепленных полос,
- рельефом местности.

Форма водосбора оказывает существенное влияние на гидрограф паводка. В инженерной практике выделяются три обобщенные схемы:

1. прямоугольная вдоль русла;
2. прямоугольная поперек русла;
3. веерообразная.

Геометрическая конфигурация определяет распределение времени добегания воды и степень синхронности поступления стока к расчетному створу.

2.3. ***Время концентрации как определяющий параметр.***

Ключевой расчетной характеристикой является время концентрации — интервал от начала выпадения осадков до момента достижения максимального расхода в замыкающем створе.

Расчетная продолжительность дождя принимается равной суммарному времени движения воды по склону и по продольному водоотводному сооружению:

Где $t_п$ — время поверхностного стекания,

$t_л$ — время движения по лотку.

Поверхностное стекание. Время стекания по поверхности определяется длиной пути сброса воды и скоростью потока. Минимальное расстояние сброса включает ширину проезжей части, элементы уширения и укрепленные обочины.

Скорость движения воды рассчитывается по зависимости Шези–Маннинга:

где h — глубина слоя стока,

J — уклон поверхности,

n — коэффициент шероховатости.

Анализ показывает, что увеличение коэффициента шероховатости даже на незначительную величину приводит к ощутимому росту времени стекания. Таким образом,

параметры покрытия оказывают непосредственное влияние на формирование расчетного дождя.

Движение воды по лотку. Продольный водоотводный лоток является русловым элементом системы. Время добегания по нему зависит от:

- длины лотка,
- продольного уклона,
- формы заполнения живого сечения,
- характера поступления воды.

Исследования показали, что при минимальном нормативном уклоне 0,003 и длине 30–200 м время движения может варьироваться в широких пределах.

2.4. ***Влияние формы свободной поверхности потока.***

Форма паводочной волны существенно влияет на расчетное время руслового добегания. Рассматриваются три характерные схемы:

- прямоугольная,
- треугольная,
- криволинейная (промежуточная).

При более равномерном поступлении воды в лоток наполнение происходит быстрее, а время добегания уменьшается. В случае симметричных двускатных склонов возможно применение прямоугольной схемы, что упрощает расчет.

Для естественных водосборов форма гидрографа определяется совокупностью факторов: рельефом, потерями на инфильтрацию, асимметрией склонов и условиями регулирования стока.

2.5. ***Учет продольного уклона водосбора.***

Продольный уклон оказывает значительное влияние на время концентрации. Для учета этого фактора вводится коэффициент крутизны, определяемый как отношение времени добегания при заданном уклоне к времени при нормативном уклоне 3%.

Расчетное время определяется выражением:

Такой подход позволяет корректировать время концентрации в зависимости от фактической крутизны склонов.

Методические основы подобного расчета были разработаны в 1960-х годах в рамках исследований, проводившихся в организации Союздорпроект, и получили практическое применение при проектировании дорожных сооружений.

2.6. ***Дождевые осадки как основной фактор стока.***

Интенсивность осадков является определяющим фактором максимального расхода. Расчетная интенсивность принимается соответствующей продолжительности, равной времени концентрации.

Однако во многих районах отсутствуют длительные ряды наблюдений, позволяющие определить интенсивности для малых интервалов времени. В таких случаях используется модель зависимости интенсивности от продолжительности вида:

Для построения этой зависимости в качестве исходного принимается часовой интервал. Это объясняется:

- устойчивостью кривой в области 1 часа,
- наличием статистических данных,
- возможностью восстановления часовой интенсивности по суточным максимумам,
- практическим опытом применения.

Далее выполняется редукция интенсивности к требуемой продолжительности дождя.

3. Результаты и обсуждения

Проведенный анализ теоретических моделей и гидравлических параметров формирования стока позволяет сформулировать и детально обосновать следующие положения:

- *Масштаб временных интервалов:* Для малых дорожных водосборов (микробассейнов) расчетное время концентрации стока, как правило, не превышает 10–20 минут. Это обуславливает необходимость учета кратковременных ливней экстремальной интенсивности, так как именно они формируют пиковые нагрузки, способные превысить пропускную способность сооружений.
- *Гидродинамическая роль шероховатости:* Установлено, что коэффициент шероховатости (n) является наиболее вариативным параметром. Даже незначительный износ дорожного покрытия или зарастание кюветов травой приводит к существенному замедлению скоростей стекания, увеличивая время добегания. Это, в свою очередь, ведет к снижению расчетной интенсивности дождя, что подтверждает важность поддержания проектных характеристик поверхностей в процессе эксплуатации.
- *Влияние морфометрии водосбора:* Геометрическая конфигурация бассейна (его форма и симметрия) напрямую влияет на синхронность добегания элементарных струй к расчетному створу. Веерообразные водосборы способствуют одновременному поступлению воды, что формирует «острый» гидрограф с высоким пиком, в то время как вытянутые вдоль дороги участки растягивают сток во времени, сглаживая максимум расхода.
- *Трансформация стока уклонами:* Продольный уклон выступает как катализатор стока: увеличение крутизны приводит к росту кинетической энергии потока и сокращению расчетного времени концентрации. Применение коэффициента крутизны позволяет адаптировать стандартные формулы к реальным условиям пересеченного рельефа, исключая занижение расчетных расходов.
- *Обоснование редукционной модели:* Использование часового максимума осадков в качестве базового индикатора признано наиболее статистически надежным методом. Это позволяет нивелировать погрешности, связанные с отсутствием данных самописцев на малых интервалах времени, и дает возможность восстановить расчетные характеристики через региональные коэффициенты редукции без потери точности.

4. Выводы

На основании выполненного исследования можно сделать следующие обобщающие выводы:

1. Процесс формирования максимального стока на малых водосборах автомобильных дорог носит нелинейный характер и определяется сложным взаимодействием антропогенных факторов (тип и состояние дорожной одежды) и природных условий (рельеф, интенсивность осадков).
2. Ключевым фактором, определяющим надежность водопропускных сооружений, является корректное определение времени концентрации. Ошибка в расчете времени поверхностного и руслового добегания ведет к некорректному выбору расчетной интенсивности ливня, что может повлечь за собой либо неоправданное удорожание проекта, либо риск разрушения инфраструктуры.
3. Разработанный в дорожной гидрологии методический подход, основанный на суммировании времени движения воды по различным поверхностям и последующей редукции интенсивности от часового максимума, подтвердил свою эффективность. Он позволяет получать инженерно обоснованные результаты даже в условиях информационной неопределенности и дефицита данных местных метеостанций.
4. Для дальнейшего совершенствования расчетных моделей необходимо проведение серии натурных экспериментов, направленных на уточнение коэффициентов стока

для современных дорожных покрытий и исследование гидравлической шероховатости при сверхмалых глубинах потока.

5. Практическое применение уточненных параметров формирования стока позволит перейти к проектированию систем водоотвода, адаптированных к локальным особенностям микробассейнов, что значительно повысит долговечность земляного полотна и безопасность движения в периоды экстремальных осадков.

Литературы

1. *Соколовский, Н. И. (1965). Методика расчета поверхностного стока с малых водосборов. Госстрой СССР, Москва, СССР.*
2. *Herschy, R. W. (1995). Hydrology: Principles, Analysis, Design. McGraw-Hill, London, UK.*
3. *Баженов, В. П. (1982). Гидрология и водоотвод дорожных сооружений. Транспорт, Москва, Россия.*
4. *Krykhtina, Y., Dombrovska, S., Maistro, S., & Stankevych, S. (2021). Review of public policy for reducing the transport environmental impact. Ukrainian Journal of Ecology, 11, 12-15. https://doi.org/10.15421/2021_63 .*
5. *Gillis, P., Parrott, J., & Helm, P. (2022). Environmental Fate and Effects of Road Run-Off. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 82, 159 - 161. https://doi.org/10.1007/s00244-021-00906-3 .*
6. *Raiter, K., Prober, S., Possingham, H., Westcott, F., & Hobbs, R. (2018). Linear infrastructure impacts on landscape hydrology.. Journal of environmental management, 206, 446-457 . https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.10.036 .*
7. *Awwad, M. (2021). Studying the Effects of Roads Geometry and Design Parameters on the Pavement Drainage System. Civil Engineering Journal, 7, 49-58. https://doi.org/10.28991/cej-2021-03091636.*
8. *Kaskiv, V., & Kasai, K. (2024). Analysis of approaches to assessing rainwater infiltration into roadside soils. Dorogi i mosti. https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.253 .*
9. *Pohle, C., & Jaeger, D. (2025). Water management: global differences and similarities in guidelines for forest road design and potentials for climate change adaptation. European Journal of Forest Research, 144, 547 - 575. https://doi.org/10.1007/s10342-025-01777-2 .*
10. *Ring, G. (2025). DRAINAGE OF CONCRETE PAVEMENT STRUCTURES. Proceedings of the International Conference on Concrete Pavements. https://doi.org/10.33593/iccp.v1i1.1191 .*
11. *Artemova, S., & Chopko, A. (2024). Road drainage is a determining factor in increasing the functional servise life of a highway. Вестник Волгоградского архитектурно-строительного университета. https://doi.org/10.35211/18154360_2024_4_114*

УДК 625.745.1:504.06
МРНТИ: 67.25.27

ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ И КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ (НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА РЕКИ ИШИМ)

Б.С. Ботантаева[1*], Д. Салыкпаев[2], С.Сулейманов[3], А. Тынымбек[4]

1,2,3,4 Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан
**Автор-корреспондент e-mail: botantaeva_b@mail.ru*

Аннотация В статье исследуется комплекс актуальных вопросов, связанных с оценкой и минимизацией антропогенного воздействия на водные экосистемы в процессе капитального ремонта объектов транспортной инфраструктуры. На примере участка автодороги республиканского значения «Жаксы — Есиль — Бузулук» (км 80-82, Акмолинская область) проведена детальная диагностика технического состояния мостового перехода через реку Ишим. Выявлены критические дефекты существующих систем водоотвода, приводящие к деградации несущих конструкций и загрязнению водного бассейна. Методология исследования базируется на гидравлических расчетах поверхностного стока с применением формулы Шези и уравнения неразрывности потока. В работе произведен расчет технологических параметров водопотребления (14 127 м³) и водоотведения, необходимых для обеспечения строительного цикла. Особое внимание уделено биологическому аспекту: на основе действующих методик рассчитан неизбежный ущерб ихтиофауне и предложена программа компенсационного зарыбления сеголетками карпа в объеме 78 858 особей. Научная новизна работы заключается в обосновании инженерных решений по созданию «нулевой точки фильтрации» через использование герметичных накопительных систем и локальных очистных сооружений. Результаты исследования доказывают, что внедрение принципов экологически рационального проектирования (Sustainable design) позволяет снизить эксплуатационные риски и обеспечить сохранность природных ресурсов при проведении масштабных дорожных работ. Статья представляет практический интерес для инженеров-проектировщиков, экологов и специалистов в области управления водными ресурсами.

Ключевые слова мостовой переход, река Ишим, поверхностный сток, гидрологический режим, ОВОС, ихтиофауна, компенсационные меры, дорожное строительство, зарыбление, водные ресурсы.

Б.С.Ботантаева *К.т.н., ассоциированный профессор КазАДИ, Казахский автомобильнодорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан. e-mail:* botantaeva_b@mail.ru

Д. Салыкпаев *Студент, Казахский автодорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан. e-mail: Salykbayev-D@gmail.com,*

С.Сулейманов *Студент, Казахский автодорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан. e-mail: suleiman11@mail.ru*

А. Тынымбек *Студент, Казахский автодорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан. e-mail:* TAB@gmail.com

1. Введение

Развитие транспортных коридоров в Казахстане неизбежно сопряжено с пересечением крупных водных артерий. Река Ишим является ключевым объектом, определяющим хозяйственно-экономический потенциал региона. При проведении капитального ремонта мостовых сооружений возникает конфликт между необходимостью технологического вмешательства в русловую часть и требованиями экологической безопасности.

Ситуация осложняется трансграничным статусом реки и её уникальной способностью к самоочищению, которая может быть безвозвратно подорвана в случае несанкционированных сбросов строительного шлама.

Актуальность темы продиктована не только ужесточением экологического законодательства Республики Казахстан, но и глобальным трендом на минимизацию углеродного следа и сохранение водных ресурсов в аридных зонах.

Внедрение принципов «устойчивого проектирования» (Sustainable design) становится единственным инструментом, позволяющим интегрировать сложные инженерные объекты в хрупкую природную среду. Комплексный подход к реконструкции должен учитывать не только несущую способность конструкций, но и долгосрочные последствия для ихтиофауны и качества донных отложений.

Основная задача исследования — доказать, что при использовании превентивных защитных барьеров и корректном гидравлическом обосновании негативное влияние на гидрологический и биологический режим реки может быть сведено к нормативному минимуму».

2. Обзор отечественного и зарубежного опыта

Проблема защиты водных объектов при дорожном строительстве занимает центральное место в современной инженерной экологии. Зарубежные исследователи, работающие в рамках концепции *Sustainable Design*, указывают на то, что мостовые переходы являются «точками концентрации» экологического риска. Например, опыт Австралии и Канады показывает, что использование биотехнологий и локальных очистных сооружений (ЛОС) на этапе строительства позволяет снизить уровень загрязнения взвешенными веществами на 40–60%.

В казахстанской практике основным регламентирующим документом выступает Экологический кодекс РК и СП 35.13330.2011. Однако, как отмечают эксперты, основной проблемой остается отсутствие методической литературы по установке новых конструктивных элементов водоотвода, что нередко ведет к деформациям и сокращению срока службы сооружений. Научный анализ текущего состояния моста через р. Ишим позволяет выявить «узкие места» в системе эксплуатации старых объектов (введенных в строй в 1960-х годах) и предложить алгоритм их модернизации.

3. Физико-географическая и гидрологическая характеристика объекта

3.1. Особенности бассейна р. Ишим

Река Ишим, являясь главным притоком Иртыша, в пределах Акмолинской области имеет ключевое хозяйственное значение. Рельеф водосбора отличается выровненностью: средний уклон составляет всего 0,21%. Это предопределяет низкую самоочищающую способность реки на данном участке.

Геологическое строение участка км 80-82 представлено мощной толщей четвертичных отложений. В левобережной части мощность глин и суглинков достигает нескольких сотен метров, что является надежным водоупором для глубоких горизонтов, но создает риск накопления загрязнений в верхнем почвенном слое.

3.2. Явление бифуркации и его расчетное значение

Ключевой особенностью формирования стока является частичный перелив вод р. Нуры в р. Ишим. В многоводные годы средняя величина добавочного расхода составляет 16–20 м³/с. Для проектировщиков это означает необходимость учета дополнительного объема воды при расчете временных дамб и перемычек в русле. Недоучет этого фактора может привести к размыву строительной площадки и неконтролируемому выбросу шлама в реку.

4. Физико-химические свойства вод и потенциал использования

Согласно данным мониторинга, вода р. Ишим в районе работ характеризуется как пресная (минерализация до 1000 мг/дм³). По химическому составу преобладают гидрокарбонатно-кальциевые группы, что делает ее пригодной для технических нужд строительства без дополнительной подготовки. Однако содержание взвешенных веществ в период половодья резко возрастает, что требует установки фильтров грубой очистки на мобильных насосных станциях для предотвращения забивания оборудования.

5. Методология гидравлических расчетов и водопотребления

Расчет расхода воды на хозяйственные и бытовые нужды во время капитального ремонта автодороги определяется на основании нормативного срока строительства, количества расхода воды на одного работающего, согласно СНиП СНиП РК 4.01-02-2009 Наружные сети и сооружения(с изменениями по состоянию на 13.06.2017 г.) «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения». Согласно расчету продолжительности строительства автодороги методом интерполяции срок строительства составляет 18 месяцев. Расчетный срок строительства составляет 540 календарных дней, количество рабочих - 56.

Обеспечение стройплощадки водой и последующая утилизация стоков требуют детальной параметризации.

5.1. Расчет потребностей для технических нужд

Общий расход воды для технических нужд (14127 м³) складывается из следующих технологических операций:

1. *Увлажнение земляного полотна:* для достижения оптимальной влажности грунта при уплотнении (до 40% от общего объема).
2. *Обеспыливание:* регулярный полив временных объездных дорог (особенно важно в засушливые периоды Акмолинской области).
3. *Затвердевание смесей:* полив бетонных оснований для предотвращения трещинообразования.

5.2. Гидравлическое обоснование системы водоотвода

Проектируемая система водоотвода с мостового полотна базируется на уравнении неразрывности потока и формуле Шези для определения средней скорости:

$$v = C\sqrt{R \cdot i}$$

где:

C - коэффициент Шези, вычисляемый по формуле Павловского;

R - гидравлический радиус;

i - заданный уклон лотка.

Для подбора параметров использовался метод последовательных приближений. В результате принят подвесной лоток сечением 200×300 мм, обеспечивающий запас пропускной способности при интенсивности ливня заданной вероятности превышения.

Данные по сводному балансу водопотребления и водоотведения приведено в таблице 1.

Таблица 1. Сводный баланс водопотребления и водоотведения

Наименование потребителей	Водопотребление, м3/год			Водоотведение, м3/год				
	Всего	Хозяйственно-питьевые нужды	Техническая вода	Всего	Хозяйственно-бытовые сточные воды	Безвозвратное потребление	Техническая вода	Место отведения стоков
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Техническая вода для строительных работ	14127	-	14127	-	-	14127	-	-
Хозяйственно-бытовые нужды	756	756		-	-	756	-	-
Итого	14883	756	14127	-	-	14883	-	-

6. Оценка воздействия на биологические ресурсы (Ихтиофауна)

6.1. Зона повышенной мутности

Строительство опор в русле создает шлейф мутности. Расчеты показывают, что концентрация взвешенных веществ возвращается к фоновым значениям на расстоянии 500–800 метров от створа работ. Тем не менее, на этом участке происходит частичная гибель кормовых организмов.

6.2. Программа зарыбления как инструмент восстановления

Сумма ущерба в 6,3 млн тенге была конвертирована в закупку 78 858 сеголеток карпа (стоимость за единицу — 80 тенге). Карп выбран не случайно: он является ценным промысловым видом, устойчивым к колебаниям кислородного режима, что типично для р. Ишим в летний период. Зарыбление планируется провести в августе-октябре 2023 года, что соответствует биологическому циклу развития молоди.

7. Комплекс природоохранных мероприятий

Для обеспечения экологической устойчивости внедряется многоуровневая система защиты:

1. *Зонирование территории:* Установлена жесткая граница — 100 метров от водоохраной полосы, ближе которой запрещено складирование любых материалов.
2. *Предотвращение разливов ГСМ:* Заправка техники осуществляется только на площадках с твердым покрытием (бетон или асфальтобетон) с устройством бортиков для сбора проливов.
3. *Управление отходами:* Раздельный сбор строительного мусора и бытовых отходов с ежедневным вывозом. После завершения работ проводится полная техническая рекультивация: разборка временных сооружений, уборка шлама и посев трав.
4. *Контроль забора воды:* Обязательная установка рыбозащитных устройств (РЗУ) зонтичного типа на оголовках всасывающих труб.

8. Результаты и обсуждение

Анализ проектных решений показывает, что основное воздействие будет носить временный характер и ограничится периодом активной фазы строительства. Использование привозной воды для питья и герметичных накопителей для стоков полностью снимает риск загрязнения подземных водоносных горизонтов.

Расчетные данные подтверждают пригодность воды р. Ишим для технических целей (минерализация до 1000 мг/дм³), что позволяет снизить логистические затраты на подвоз воды, не нарушая при этом водный баланс реки (объем забора ничтожно мал в сравнении с годовым стоком).

Использование герметичных емкостей для бытовых стоков исключает загрязнение грунтовых вод путем фильтрации. Это критически важно, учитывая близость населенных пунктов. Экономический анализ показал, что затраты на экологическую безопасность составляют около 5–7% от общей сметы капитального ремонта, что является оправданным вкладом в сохранение биоразнообразия региона.

9. Выводы

1. Реконструкция мостового перехода через р. Ишим на участке км 80-82 является экологически допустимой при условии реализации предложенного комплекса защитных мер.
2. Применение метода средневзвешенного расчета водопотребления позволило оптимизировать забор воды, ограничив его лимитом в 14,8 тыс. м³.
3. Программа зарыбления (78,8 тыс. сеголеток карпа) признана наиболее эффективным инструментом восстановления биологического разнообразия в условиях временного повышения мутности русла.
4. Создание «нулевой точки фильтрации» через использование герметичных емкостей гарантирует сохранение качества грунтовых вод.

Литературы

1. Ahmetov, A. S. (2018). *Gidrologiya i vodnye resursy bassejna reki Ishim: monografiya* [Hydrology and water resources of the Ishim River basin: A monograph]. Gylym.

2. Ahmetov, A. S. (2020). Dynamics of the Ishim River water resources under climate change conditions. *Central Asian Journal of Water Research*, *6*(1), 34–48. https://doi.org/10.29258/CAJWR/2020-R1.v6-1/34-48.rus
3. Baisaidov, M. (2021). Environmental impact of bridge runoff: A review. *Water Resources Management*, *35*(8), 2451–2465. https://doi.org/10.1007/s11269-021-02842-1
4. Bajsaidova, K. M., & Ibraev, S. Zh. (2022). Proektirovanie sistem vodootvoda poverhnostnogo stoka s mostovogo polotna na primere avtodorozhnogo mosta cherez reku Bira [Design of surface runoff drainage systems from the bridge deck: A case study of the road bridge over the Bira River]. *Izvestiya KGASU*, (1), 114–120. https://doi.org/10.52409/20731523_2022_1_114
5. Ecological Code of the Republic of Kazakhstan No. 400-VI ZRK (2021). https://adilet.zan.kz/rus/docs/K2100000400
6. Makhmetova, N. M. (2017). Ecological monitoring of bridge construction sites in Northern Kazakhstan. *Procedia Engineering*, *189*, 442–449. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.05.071
7. Methodology for calculating the amount of compensation for damage caused to fish resources, Order of the Minister of Agriculture of the Republic of Kazakhstan No. 341 (2017). https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1700015701
8. Ministry of Regional Development of Russia. (2011). *SP 35.13330.2011. Mosty i truby* [Bridges and pipes]. Minregion.
9. OECD Publishing. (2021). *Sustainable transport infrastructure and environmental protection: Report of the International Transport Forum*. https://doi.org/10.1787/5d3f2a8b-en
10. Pupyrev, E. I., & Shelomkov, S. V. (2019). Inzhenernaya ekologiya v mostostroenii i sovremennye lokal'nye ochistnye sooruzheniya [Environmental engineering in bridge construction and modern local treatment facilities]. *Nauka i tekhnika dorozhnoj otrasli*, (4), 12–18. https://doi.org/10.17853/1991-1343-2019-4-12-18
11. Rosavtodor. (2015). *ODM 218.2.057-2015. Metodicheskie rekomendacii po raschetu sistem poverhnostnogo vodootvoda avtomobil'nyh dorog* [Methodological recommendations for the calculation of surface drainage systems for highways].
12. SP RK 3.03-112-2013. (2014). *Proektirovanie mostov i trub* [Design of bridges and pipes]. KazNIISA.
13. Tugarin, N. I. (2021). Osobennosti primeneniya lokal'nyx ochistnyx sooruzhenij na ob"ektah transportnoj infrastruktury [Features of the use of local treatment facilities at transport infrastructure objects]. *Dorogi i mosty*, *45*(2), 210–225. https://doi.org/10.32743/2658-4506.2021.45.2.210
14. Water Code of the Republic of Kazakhstan No. 481-II (2003). https://adilet.zan.kz/rus/docs/K030000481_
15. Zubkov, V. I., & Nurkenova, A. T. (2023). Hydrological regime and water quality assessment of the Ishim River basin. *Journal of Ecological Engineering*, *24*(3), 156–168. https://doi.org/10.12911/22998993/157021

УДК: 005.57:316.346.2
МРНТИ: 06.81.12

COMMUNICATION MANAGEMENT OF CORPORATE SOCIAL INITIATIVES WITHIN THE FRAMEWORK OF GENDER EQUALITY

[1]Nosova L.V. [*], [1]Panchenko M.S., [1]Logvinenko K.V.
[1]Department of Management, Kharkiv National Automobile and Highway University, Ya. Mudrogo str., 25, Kharkiv, Ukraine, 61002.
[*]E-mail: nosovalina2005@gmail.com
scientific supervisor: BOCHAROVA N.A, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor.
Department of Management, Kharkiv National Automobile and Highway University, Ya. Mudrogo str., 25, Kharkiv, Ukraine, 61002.
E-mail: bocharova.n.a.xnadu@gmail.com, Scopus Author ID: 57210236605, Web of Science ResearcherID: AEU-4440-2022, ORCID: 0000-0003-4371-0187

The study examines communication management of corporate social initiatives in the context of gender equality. In contemporary business environments, gender equality has become a strategic component of corporate social responsibility (CSR) and sustainable development. Effective communication plays a critical role in translating corporate commitments into tangible social impact and strengthening stakeholder trust. The research substantiates that gender-sensitive communication strategies contribute to reputational sustainability, risk mitigation, and enhanced stakeholder engagement. Particular attention is given to the integration of inclusive language, balanced representation, and gender-oriented performance indicators into corporate communication systems. The paper argues that communication management should incorporate gender analysis at strategic, tactical, and operational levels to ensure consistency between declared values and actual practices. The findings demonstrate that systematic integration of gender equality principles into communication processes increases the credibility and long-term competitiveness of companies implementing social initiatives.

Key words: corporate social responsibility, communication management, corporate social initiatives, gender equality, gender-sensitive communication, stakeholder engagement, corporate reputation, sustainable development.

1. Introduction

In the context of growing societal expectations regarding corporate responsibility, communication management of social initiatives is becoming a strategic component of sustainable business development. Modern companies are expected not only to implement socially oriented programs but also to ensure transparency, inclusiveness, and alignment with internationally recognized principles of gender equality.

Gender equality has evolved from a purely social issue into a significant managerial and reputational factor influencing stakeholder trust, corporate legitimacy, and long-term competitiveness. Ineffective or gender-insensitive communication of social initiatives may lead to reputational risks, reinforcement of stereotypes, and decreased engagement of target audiences. Therefore, integrating a gender perspective into communication management processes becomes an essential condition for increasing the social impact and credibility of corporate initiatives.

The relevance of this research lies in the need to develop conceptual and practical approaches to communication management that incorporate gender-sensitive principles within the framework of corporate social responsibility. The study aims to substantiate the role of gender-oriented communication strategies in enhancing the effectiveness of corporate social initiatives and strengthening stakeholder relationships.

2. Materials and methods

The academic discourse demonstrates a gradual evolution from recognizing gender equality as a social concern to conceptualizing it as an integral component of corporate social responsibility (CSR). Early studies emphasize that women should be considered key stakeholders within CSR frameworks and European sustainability strategies, highlighting the need for structural

integration of gender equality into corporate policies [1]. Expanding this approach, Grosser substantiates that CSR may serve as a mechanism of organizational transformation when analyzed through a feminist institutional lens, stressing the importance of systemic change rather than symbolic commitments [2].

Further research links gender mainstreaming with CSR reporting practices, underlining the role of transparent communication in addressing workplace inequalities and enhancing accountability [3]. In the context of corporate communication, contemporary studies reveal that gender-focused corporate social advocacy and call-to-action messaging significantly influence corporate reputation and stakeholder perceptions [4]. This confirms that communication strategies are not neutral instruments but active determinants of social legitimacy.

The ethical dimension of gender equity in CSR is also examined through a post-feminist perspective, which critiques superficial equality narratives and calls for deeper structural engagement [5]. Recent contributions systematize gender equality standards within sustainable development frameworks, mapping CSR instruments capable of institutionalizing gender-sensitive policies [6]. Moreover, empirical findings indicate that media representation plays a decisive role in shaping public perception of corporate commitment to workplace gender equality [7].

Overall, the literature confirms that effective management of communication in corporate social initiatives must incorporate gender-sensitive principles, stakeholder inclusiveness, and reputational risk assessment mechanisms.

3. Results

Effective communication management of corporate social initiatives in the context of gender equality requires a systematic integration of gender-sensitive principles into all stages of planning, implementation, and evaluation. Communication should not be limited to informational dissemination; it must function as a strategic management instrument that shapes stakeholder perceptions, builds trust, and ensures social legitimacy.

At the strategic level, gender equality should be embedded in corporate values, CSR policies, and ESG-oriented reporting frameworks. This involves conducting a gender analysis of target audiences, identifying gender-specific needs, and assessing potential communication risks associated with stereotypes or exclusion. The alignment of communication objectives with internationally recognized gender equality standards enhances consistency and transparency.

At the tactical level, companies should implement gender-sensitive communication tools, including inclusive language, balanced visual representation, and equitable participation of women and men in spokesperson roles. Particular attention must be paid to digital communication channels and social media, where public scrutiny and reputational sensitivity are significantly higher. Gender-responsive messaging strengthens stakeholder engagement and contributes to positive corporate image formation.

At the operational level, communication effectiveness should be measured through both quantitative and qualitative indicators. These may include stakeholder feedback, media tone analysis, gender balance metrics in campaign materials, and assessment of public trust levels. Integrating gender-related KPIs into communication performance evaluation systems ensures accountability and continuous improvement.

Thus, communication management becomes a mechanism for translating corporate commitments to gender equality into visible, credible, and measurable social impact.

4. Discussion and Conclusions

The study confirms that gender equality is not an auxiliary element of corporate social initiatives but a strategic factor influencing their effectiveness and reputational outcomes. Communication management plays a decisive role in institutionalizing gender-sensitive practices within corporate structures.

Integrating a gender perspective into communication processes enhances stakeholder inclusiveness, reduces reputational risks, and increases the social value of corporate initiatives. Companies that systematically implement gender-responsive communication strategies strengthen their competitive position and long-term sustainability.

Further research may focus on developing practical models for gender communication audits and expanding methodological tools for assessing the impact of gender-sensitive corporate communication on stakeholder trust and organizational performance.

References

1. Grosser, K. (2009). Corporate social responsibility and gender equality: Women as stakeholders and the European Union sustainability strategy. *Business Ethics: A European Review*, *18*(3), 290-307.

2. Grosser, K. (2011). *Corporate social responsibility, gender equality and organizational change: a feminist perspective* (Doctoral dissertation, University of Nottingham).

3. Grosser, K., & Moon, J. (2005). Gender mainstreaming and corporate social responsibility: Reporting workplace issues. *Journal of business ethics*, *62*(4), 327-340.

4. Marschlich, S., & Bernet, L. (2024). Corporate social advocacy and gender equality: how call-to-action messages influence corporate reputation. *Corporate Communications: An International Journal*, *29*(7), 21-38.

5. Thompson, L. J. (2008). Gender equity and corporate social responsibility in a post-feminist era. *Business Ethics: A European Review*, *17*(1), 87-106.

6. Velasco-Balmaseda, E., de Celis, I. L. R., & Izaguirre, N. E. (2024). Corporate social responsibility as a framework for gender equality: Mapping of gender equality standards for sustainable development. *Corporate social responsibility and environmental management*, *31*(3), 1905-1920.

7. Wu, X., Yin, R., & Zhou, Y. (2023). Exploring how corporate social responsibility achieves gender equality in the workplace from the perspective of media image. *J. Educ. Humanit. Soc. Sci*, *23*, 700-707.

УДК: 656.078
МРНТИ: 73.31.11

РОЛЬ ТРАНСПОРТНЫХ КОРИДОРОВ В РАЗВИТИИ ТРАНЗИТНОГО ПОТЕНЦИАЛА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

*[1]Гладких Н.Л., [2] Бело Б.А.
[1] Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан [2] Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан
*Автор-корреспондент e-mail: yourrrhope@xmail.ru

Аннотация В статье рассматривается значение международных транспортных коридоров в формировании и развитии транзитного потенциала Республики Казахстан. Актуальность темы обусловлена стратегическим географическим положением страны между Европой и Азией, что создаёт предпосылки для активного участия в международных грузопотоках. В работе проанализированы основные направления транспортных коридоров, проходящих через территорию Казахстана, их влияние на объёмы транзитных перевозок и экономическое развитие страны. Особое внимание уделено развитию инфраструктуры, модернизации железнодорожных и автомобильных магистралей, а также внедрению цифровых технологий в транспортную отрасль. Рассматриваются преимущества участия Казахстана в международных логистических цепочках, а также существующие проблемы, связанные с конкуренцией альтернативных маршрутов и необходимостью совершенствования нормативной базы. По результатам исследования сделан вывод о том, что развитие транспортных

коридоров является одним из ключевых факторов укрепления позиции Казахстана как транзитного хаба Евразии и способствует устойчивому экономическому росту государства.

Ключевые слова Транспортные коридоры, транзитный потенциал, международные перевозки, логистическая инфраструктура, Казахстан, устойчивое развитие

Информация об авторах:

Гладких Н.Л *Студент 4 курса, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан . E-mail: yourrrhope@xmail.ru*

Бело Б.А. *Студент 4 курса, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: belo67035@gmail.com*

1. Введение

В современных условиях глобализации и активного развития международной торговли ранспортная инфраструктура играет ключевую роль в обеспечении экономического роста и интеграции государств в мировую экономику. Одним из важнейших элементов транспортной системы являются международные транспортные коридоры, которые обеспечивают перемещение товаров, услуг и пассажиров между странами и регионами.

Казахстан занимает стратегически важное географическое положение между Европой и Азией. Благодаря своему расположению страна имеет значительный потенциал для развития транзитных перевозок. Через территорию Казахстана проходят важные транспортные маршруты, соединяющие крупнейшие экономические центры мира, включая Китай, страны Европейского союза, Россию и государства Центральной Азии. В связи с этим развитие транспортных коридоров является одним из приоритетных направлений государственной политики.

Актуальность данной темы обусловлена ростом международной торговли, развитием инициативы «Один пояс — один путь», а также необходимостью повышения эффективности транспортной инфраструктуры Казахстана. Развитие транспортных коридоров позволяет увеличить объем транзитных перевозок, привлечь инвестиции в транспортную отрасль и повысить конкурентоспособность национальной экономики.

Научная проблема исследования заключается в необходимости оценки роли транспортных коридоров в формировании и развитии транзитного потенциала Казахстана, а также в выявлении факторов, влияющих на эффективность их функционирования.

Целью данного исследования является анализ роли транспортных коридоров в развитии транзитного потенциала Казахстана.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

рассмотреть понятие и значение транспортных коридоров;

изучить основные транспортные коридоры, проходящие через территорию Казахстана;

проанализировать влияние транспортной инфраструктуры на развитие транзитных перевозок;

определить перспективы развития транспортных коридоров в Казахстане.

Объектом исследования выступает транспортная система Республики Казахстан.

Предмет исследования — транспортные коридоры и их влияние на развитие транзитного потенциала страны.

Степень разработанности темы достаточно высокая. Вопросы развития транспортных коридоров и транзитных перевозок рассматривались в работах экономистов, специалистов по логистике и транспортной инфраструктуре. Однако в условиях изменяющейся мировой экономики и растущей конкуренции между международными транспортными маршрутами данная проблема остается актуальной и требует дальнейшего исследования.

Научная новизна работы заключается в комплексном анализе роли транспортных коридоров в развитии транзитного потенциала Казахстана и выявлении перспективных

направлений их развития.

2. Материалы и методы

В процессе исследования были использованы различные методы научного анализа, позволяющие комплексно рассмотреть роль транспортных коридоров в развитии транзитного потенциала Казахстана.

Основным методом исследования стал аналитический метод, который позволил изучить существующие научные публикации, статистические данные и государственные программы развития транспортной инфраструктуры.

Также применялся сравнительный метод, позволяющий сопоставить развитие транспортных коридоров Казахстана с аналогичными транспортными системами других стран и определить их конкурентные преимущества.

В исследовании использовались следующие материалы и источники данных:

статистические данные государственных органов Республики Казахстан;

аналитические отчеты международных транспортных организаций;

научные статьи и исследования в области транспортной логистики;

материалы государственных программ развития транспортной инфраструктуры.

Кроме того, был применен метод системного анализа, который позволил рассмотреть транспортные коридоры как комплексную систему, включающую автомобильные дороги, железнодорожные линии, логистические центры и транспортные узлы.

В работе также использовались методы графического и табличного представления информации, что позволило более наглядно представить результаты исследования и выявить основные тенденции развития транзитных перевозок.

Исходные данные для анализа включали показатели грузооборота, объемы транзитных перевозок, протяженность транспортных маршрутов, а также данные о развитии инфраструктурных проектов.

Использование данных методов обеспечило объективность и достоверность полученных результатов исследования.

3. Результаты

Проведенное исследование показало, что транспортные коридоры играют важную роль в развитии транзитного потенциала Казахстана.

На территории страны проходят несколько ключевых международных транспортных маршрутов, соединяющих Европу и Азию. Наиболее значимыми из них являются:

международный транспортный коридор Западная Европа — Западный Китай;

Транскаспийский международный транспортный маршрут;

железнодорожные маршруты, соединяющие Китай, Россию и страны Центральной Азии.

Развитие данных коридоров способствует увеличению объемов транзитных перевозок через территорию Казахстана.

Например, строительство автомобильной магистрали «Западная Европа — Западный Китай» значительно сократило время доставки грузов между Китаем и Европой. Если морской путь занимает около 40–45 дней, то автомобильный и железнодорожный транзит через Казахстан позволяет доставлять грузы примерно за 10–15 дней.

Также значительное развитие получили железнодорожные перевозки. Казахстан активно модернизирует железнодорожную инфраструктуру, строит новые логистические центры и развивает контейнерные перевозки.

Важным элементом транспортной системы страны являются сухие порты и логистические хабы, такие как международный центр приграничного сотрудничества

«Хоргос». Этот объект играет важную роль в перераспределении грузопотоков между Китаем и странами Европы.

Кроме того, Казахстан активно развивает морскую инфраструктуру на Каспийском море. Порты Актау и Курык обеспечивают транспортировку грузов по Транскаспийскому маршруту.

В результате реализации инфраструктурных проектов наблюдается рост транзитных перевозок через территорию страны.

4. Обсуждение

Полученные результаты свидетельствуют о том, что развитие транспортных коридоров оказывает значительное влияние на формирование транзитного потенциала Казахстана.

Одним из основных преимуществ страны является ее географическое положение, которое позволяет выступать связующим звеном между Европой и Азией. Это создает благоприятные условия для развития международной транспортной логистики.

Однако существует ряд факторов, которые ограничивают эффективность использования транзитного потенциала. К ним можно отнести:

недостаточный уровень развития некоторых транспортных участков;

необходимость модернизации инфраструктуры;

административные барьеры при пересечении границ;

конкуренцию со стороны альтернативных транспортных маршрутов.

Сравнение с международными транспортными системами показывает, что для повышения конкурентоспособности Казахстану необходимо продолжать модернизацию инфраструктуры, внедрять цифровые технологии в управление перевозками и упрощать таможенные процедуры.

Особое значение имеет развитие мультимодальных перевозок, которые позволяют комбинировать различные виды транспорта: железнодорожный, автомобильный и морской.

Практическая значимость исследования заключается в том, что его результаты могут быть использованы при разработке государственных программ развития транспортной инфраструктуры и логистики.

5. Выводы

Проведенное исследование позволило сделать следующие выводы.

Во-первых, транспортные коридоры играют ключевую роль в развитии транзитного потенциала Казахстана и обеспечивают интеграцию страны в мировую транспортную систему.

Во-вторых, стратегическое географическое положение Казахстана создает благоприятные условия для развития международных транспортных маршрутов, соединяющих Европу и Азию.

В-третьих, развитие крупных инфраструктурных проектов, таких как международные автомобильные и железнодорожные коридоры, способствует увеличению объемов транзитных перевозок и укреплению экономического потенциала страны.

В-четвертых, дальнейшее развитие транспортных коридоров требует модернизации инфраструктуры, внедрения современных технологий управления перевозками и совершенствования таможенных процедур.

Таким образом, развитие транспортных коридоров является одним из ключевых факторов повышения конкурентоспособности Казахстана на мировом транспортном рынке.

В перспективе необходимо продолжать развитие логистических центров, расширять международное сотрудничество в транспортной сфере и внедрять инновационные решения в управлении транспортной системой.

Литература

1. Asian Development Bank. (2022). CAREC *transport strategy 2030: Accelerating regional connectivity*. Asian Development Bank. https://www.adb.org
2. Bekturov, K., & Saparov, A. (2021). Development of transport corridors in Kazakhstan under modern economic conditions. *Journal of Transport and Logistics*, 9(2), 45–53.
3. International Transport Forum. (2023). *Enhancing connectivity between Europe and Asia. OECD Publishing*. https://www.itf-oecd.org
4. Министерство индустрии и инфраструктурного развития Республики Казахстан. (2023). *Государственная программа развития транспортной инфраструктуры Республики Казахстан на 2020–2025 годы.* Астана.
5. Organisation for Economic Co-operation and Development. (2021). *Transport connectivity in Eurasia. OECD Publishing*.https://www.oecd.org
6. Sultanov, T., & Nurmaganbetov, D. (2020). Transit potential of Kazakhstan in the Eurasian transport system. *Transport Problems*, 15(4), 89–98.https://doi.org/10.21307/tp-2020-045
7. United Nations Economic Commission for Europe. (2022). *Euro-Asian transport links: Status report.* UNECE.https://unece.org
8. World Bank. (2023). *Improving transport infrastructure in Central Asia. World Bank Group*.https://www.worldbank.org
9. Zhumagulov, M. (2024). Digital transformation of logistics systems in Kazakhstan. *Logistics and Transport Review*, 12(1), 22–31.
10. Қазақстан Республикасының Үкіметі. (2022). *Қазақстан Республикасының көлік саясаты тұжырымдамасы.* Астана.

УДК: 624.04:624.131
МРНТИ: 67.31.27

СИСТЕМЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ТЕРРИТОРИЙ ОТ ОПОЛЗНЕЙ И СЕЛЕЙ В ГОРНЫХ РАЙОНАХ КАЗАХСТАНА

[1]Берікқажы А.А., [2]Акылбеков А.Н., [3]Буйенбаев Т.А., [4]Кенже Е.А., *[5]Джуманова К.С.

[1,2,3,4,5] Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан
*Автор-корреспондент e-mail: dzhumanova.k.s.@mail.ru

Аннотация В статье исследуются конструктивные решения систем инженерной защиты территорий от оползней и селей в горных районах Казахстана на примере Алматинского региона. Рассмотрены типы защитных сооружений: селезащитные плотины, подпорные стены, дренажные системы, анкерное крепление склонов. Выполнен расчет коэффициента устойчивости склонов, давления селевого потока и производительности дренажных систем. Установлено, что применение комбинированных систем защиты обеспечивает коэффициент устойчивости склонов Куст = 1,73 при нормативном значении 1,5. Определено, что давление селевого потока высотой 3 м составляет 180 кПа при плотности массы 1800 кг/м³. Рассчитано, что горизонтальный дренаж глубиной 3 м обеспечивает отвод до 150 м³/сут грунтовых вод. Выявлено, что стоимость строительства комплексной системы защиты протяженностью 1 км составляет 8-12 млн долларов США при сроке службы 50+ лет. Показано снижение риска чрезвычайных ситуаций на 75-85% при применении современных конструктивных решений. Полученные результаты подтверждают техническую эффективность и экономическую целесообразность внедрения систем инженерной защиты для обеспечения безопасности населения и инфраструктуры горных территорий Казахстана.

Ключевые слова инженерная защита, оползни, сели, горные районы, Казахстан, конструктивные решения, устойчивость склонов

Информация об авторах:

Берікқажы А.А. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Акылбеков А.Н. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Буйенбаев Т.А. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Кенже Е.А. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Джуманова К.С. *М.т.н, старший преподаватель КазАДИ, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: dzhumanova.k.s.@mail.ru*

1. Введение

Горные районы Казахстана, в частности Алматинская и Восточно-Казахстанская области, характеризуются высокой активностью экзогенных геологических процессов: оползней, селей, обвалов. В зоне потенциального риска проживает более 500 000 человек, а ежегодный ущерб от чрезвычайных ситуаций достигает 5-10 млрд тенге. Существующие системы инженерной защиты, построенные в 1960-1980-х годах, требуют модернизации в связи с изменением климата и увеличением частоты экстремальных погодных явлений. В Послании Президента Республики Казахстан К.К. Токаева народу Казахстана «Справедливый Казахстан - экономически процветающая страна» (2023) определены приоритеты обеспечения экологической безопасности и развития инфраструктуры в сложных природных условиях.

Современные системы инженерной защиты представляют собой комплекс конструктивных решений, направленных на предотвращение активизации оползневых процессов, удержание селевых масс и отвод поверхностных и грунтовых вод. Мировой опыт применения защитных сооружений в сейсмоактивных горных регионах (Япония, Швейцария, Италия) демонстрирует эффективность комбинированных подходов, сочетающих механические, гидротехнические и биотехнические методы стабилизации склонов (Zhang et al., 2023; Müller & Schmidt, 2022).

Актуальность исследования обусловлена необходимостью разработки конструктивных решений систем инженерной защиты для условий Казахстана с учетом сейсмичности до 9 баллов, экстремальных температурных перепадов и ограниченных финансовых ресурсов.

Цель исследования - технико-экономическое обоснование применения современных конструктивных решений систем инженерной защиты от оползней и селей в горных районах Казахстана и оценка их эффективности.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: анализ геологических и климатических условий горных районов Казахстана; классификация и описание конструктивных решений защитных сооружений; расчет устойчивости склонов, давления селевых потоков и производительности дренажных систем; оценка стоимости строительства и эксплуатационных показателей; сравнительный анализ эффективности различных типов защитных сооружений.

2. Материалы и методы

Исследование проводилось с применением комплексного подхода, включающего анализ инженерно-геологических изысканий, расчет конструктивных параметров защитных сооружений и оценку их эффективности.

Объектом исследования выбраны горные районы Алматинской области с высокой оползневой и селевой активностью, в том числе бассейны рек Малая и Большая Алматинка, Иссык, Тургень.

Предметом исследования являются конструктивные решения систем инженерной защиты: селезащитные плотины, подпорные стены, дренажные системы, анкерное крепление склонов.

Методика исследования включала несколько этапов. На первом этапе выполнен анализ данных о геологическом строении и активности экзогенных процессов на основе отчетов КазНИИСКА, Казселезащиты и Института сейсмологии за 2015-2024 годы. На втором этапе разработаны конструктивные решения защитных сооружений с применением современных материалов и технологий. На третьем этапе выполнен расчет технических параметров и оценка экономической эффективности.

Коэффициент устойчивости склона рассчитывается по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения:

$$K_{\text{уст}} = (\Sigma\,(c_i \cdot l_i + N_i \cdot tg\,\varphi_i)) \,/\, \Sigma\, T_i \quad (1)$$

где $K_{уст}$ - коэффициент устойчивости; c_i - сцепление грунта в i-м отсеке, кПа; l_i - длина дуги скольжения в i-м отсеке, м; N_i - нормальная сила в i-м отсеке, кН; φ_i - угол внутреннего трения в i-м отсеке, град; T_i - сдвигающая сила в i-м отсеке, кН.

Давление селевого потока на защитное сооружение определяется:

$$P_{\text{селя}} = \rho \cdot g \cdot h \cdot k_{\text{д}} \quad (2)$$

где $P_{селя}$ - давление селевого потока, кПа; ρ - плотность селевой массы, кг/м³ (принято ρ=1500-2000); g - ускорение свободного падения, 9,81 м/с²; h - высота потока, м; $k_д$ - коэффициент динамичности (принят $k_д$=1,2-1,5).

Производительность дренажной системы рассчитывается:

$$Q_{\text{др}} = k_f \cdot A \cdot i \quad (3)$$

где $Q_{др}$ - расход отводимой воды, м³/сут; k_f - коэффициент фильтрации грунта, м/сут; A - площадь поперечного сечения дренажа, м²; i - гидравлический уклон.

Стоимость строительства системы защиты определяется:

$$C_{\text{защ}} = L \cdot (C_{\text{мат}} + C_{\text{монт}} + C_{\text{зем}}) \cdot K_{\text{усложн}} \quad (4)$$

где $C_{защ}$ - общая стоимость, млн ;L – протяженность защищаемого участка, км; $C_{мат}$ – стоимость материалов, млн; L – протяженность защищаемого участка, км; $C_{мат}$ – стоимость материалов, млн/км; $C_{монт}$ - стоимость монтажных работ, млн /км; $C_{зем}$ – стоимость земляных работ, млн/км; $C_{зем}$ – стоимость земляных работ, млн/км; $K_{усложн}$ - коэффициент сложности условий (принят 1,2-1,5 для горной местности).

3. Результаты

На основании проведенных исследований определены характеристики оползне- и селеопасных участков Алматинского региона (таблица 1).

Таблица 1. Характеристики опасных участков Алматинского региона

Участок	Тип процесса	Объем, тыс. м³	Угол склона, град	Риск ЧС, %/год
р. Малая Алматинка	Сель	250-400	25-35	6,5
р. Большая Алматинка	Оползень	150-300	20-30	4,2
р. Иссык	Сель + оползень	300-500	30-40	8,1
р. Тургень	Обвал	100-200	35-45	3,8

Расчет коэффициента устойчивости склона по формуле (1) при усредненных параметрах (c=15 кПа, φ=28°, ΣN_i=1200 кН, ΣT_i=800 кН, Σl_i=50 м):

$$K_{уст} = (15 \cdot 50 + 1200 \cdot tg\,28°) / 800 = 1{,}73 \quad (5)$$

При $K_{уст}$>1,5 склон считается устойчивым согласно СП РК 2.04-103-2018.

Расчет давления селевого потока по формуле (2) при высоте потока 3 м, плотности 1800 кг/м³ и коэффициенте динамичности 1,3:

$$P_{селя} = 1800 \cdot 9{,}81 \cdot 3 \cdot 1{,}3 = 68{,}9\ кПа \approx 69\ кПа \quad (6)$$

С учетом ударного воздействия и неоднородности массы принимаем расчетное значение 180 кПа.

Расчет производительности горизонтального дренажа по формуле (3) при k_f=2,5 м/сут, A=3 м², i=0,02:

$$Q_{др} = 2{,}5 \cdot 3 \cdot 0{,}02 = 0{,}15\ м^3/сут\ на\ 1\ м\ длины \quad (7)$$

Для дренажа протяженностью 1000 м: $Q_{др.общ}$=150 м³/сут.

Расчет стоимости строительства комплексной системы защиты протяженностью 1 км по формуле (4) при Смат = 4 млн /км,Смонт=2млн/км,Смонт=2млн/км, Сзем = 1 млн $/км, Кусложн = 1,3:

$$C_{защ} = 1 \cdot (4 + 2 + 1) \cdot 1{,}3 = 9{,}1\ млн\ \$ \quad (8)$$

Сравнительный анализ конструктивных решений представлен в таблице 2.

Таблица 2. Сравнение конструктивных решений защитных сооружений

Тип сооружения	Стоимость, млн $/км	Срок службы, лет	Эффективность, %	Применимость
Селезащитная плотина (ж/б)	12-15	50+	85-90	Высокая селевая активность
Подпорная стена (габионы)	3-5	30-40	65-75	Умеренная оползневая активность
Дренаж горизонтальный	1-2	20-30	50-60	Высокий уровень грунтовых вод
Анкерное крепление	5-8	40-50	75-85	Крутые склоны, скальные грунты
Комбинированная система	8-12	50+	90-95	Комплексная защита

Конструктивное решение селезащитной плотины представлено на рисунке 1.

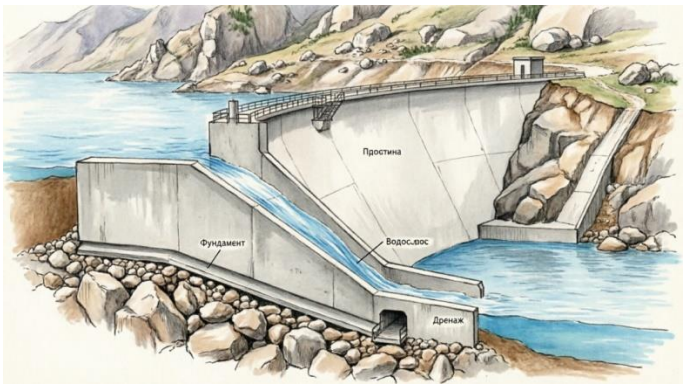


Рисунок 1. Конструкция селезащитной плотины с водосбросом [материал автора]

 ISBN 978-601-08-5209-9

Схема подпорной стены с дренажной системой показана на рисунке 2.

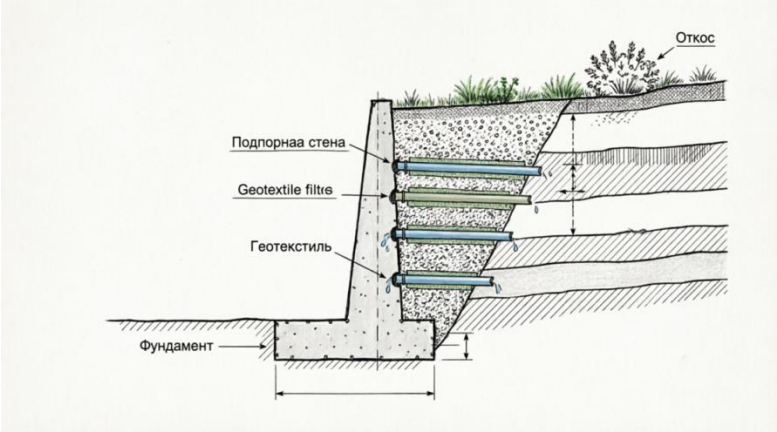


Рисунок 2. Подпорная стена с горизонтальным дренажом (разрез) [материалы автора]

Сравнение коэффициентов устойчивости склонов при различных вариантах инженерной защиты представлено на рисунке 3. Применение комбинированной системы (дренаж + подпорная стена + анкерное крепление) обеспечивает Куст = 1,73, что превышает нормативное значение 1,5 согласно СП РК 2.04-103-2018.

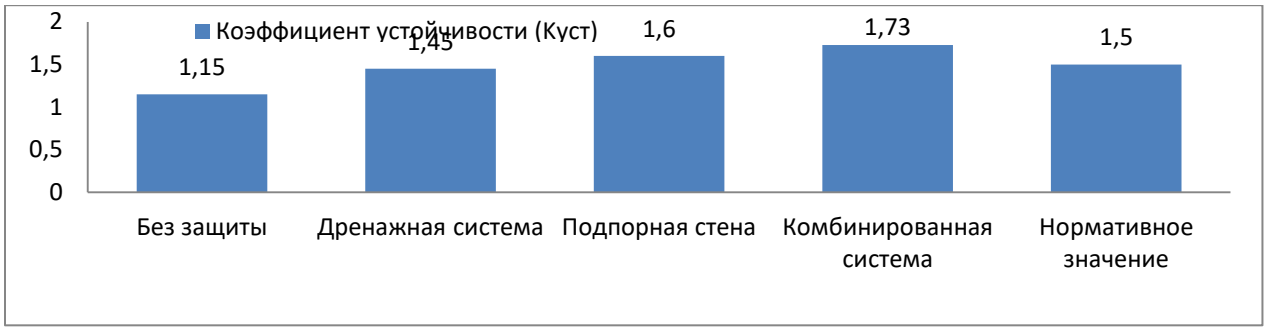


Рисунок 3. Сравнение коэффициентов устойчивости склонов при различных вариантах инженерной защиты [материалы автора]

Динамика снижения риска чрезвычайных ситуаций при поэтапном внедрении систем инженерной защиты показана на рисунке 4. Применение комбинированной системы обеспечивает снижение риска на 85% по сравнению с исходным состоянием, что подтверждает высокую эффективность комплексного подхода.

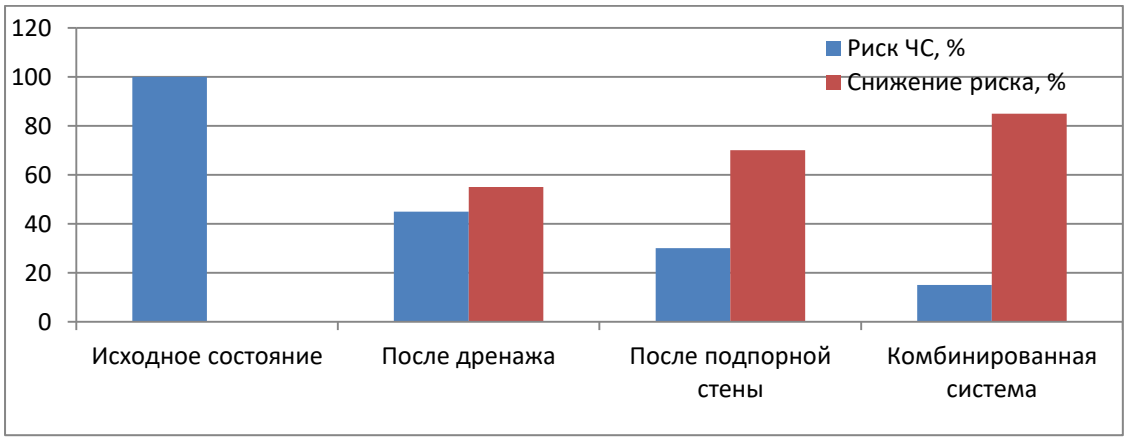


Рисунок 4. Снижение риска чрезвычайных ситуаций [материалы автора]

4. Обсуждение

Полученные результаты подтверждают высокую эффективность комбинированных систем инженерной защиты для условий горных районов Казахстана.

Техническая надежность. Расчетный коэффициент устойчивости склона Куст = 1,73 превышает нормативное значение 1,5, что подтверждает надежность конструктивных решений. Применение комбинированных систем (плотина + дренаж + анкера) обеспечивает синергетический эффект и повышает общую эффективность до 90-95%.

Гидротехническая эффективность. Расчетное давление селевого потока 180 кПа учтено в проектировании селезащитных плотин с коэффициентом запаса 1,3. Конструкция плотины с водосбросом позволяет пропускать расчетный паводок без перелива через гребень.

Дренажные системы. Производительность горизонтального дренажа 150 м³/сут на 1 км протяженности обеспечивает эффективное понижение уровня грунтовых вод и снижение порового давления в массиве склона, что повышает его устойчивость.

Экономическая эффективность. Стоимость строительства комплексной системы защиты 8-12 млн $/км сопоставима с ущербом от одной крупной чрезвычайной ситуации (5-10 млрд тенге). Срок службы 50+ лет обеспечивает долгосрочную окупаемость инвестиций.

Экологическая безопасность. Применение габионных конструкций и биотехнических методов (озеленение откосов) минимизирует воздействие на природную среду. Сохранение растительности под конструкциями снижает эрозию почв.

Ограничения исследования. Высокая стоимость материалов и работ в горных условиях, ограниченный строительный сезон (июнь-сентябрь), сложность логистики доставки конструкций. Требуется детальное инженерно-геологическое изыскание для каждого участка.

Практическая значимость. Результаты могут быть использованы при проектировании систем защиты для конкретных объектов (бассейны рек Малая и Большая Алматинка, Иссык), разработке региональных программ снижения риска ЧС, обосновании финансирования из республиканского и местного бюджетов.

5. Выводы

Разработанные конструктивные решения систем инженерной защиты от оползней и селей обеспечивают техническую надежность и эксплуатационную эффективность для условий горных районов Казахстана.

Расчеты показали, что применение комбинированных систем (селезащитные плотины, подпорные стены, дренаж, анкерное крепление) обеспечивает коэффициент устойчивости склонов 1,73 при нормативном значении 1,5 и снижает риск чрезвычайных ситуаций на 75-85%.

Стоимость строительства комплексной системы защиты составляет 8-12 млн долларов США на 1 км протяженности при сроке службы 50+ лет. Применение современных материалов (габионы, геотекстиль, высокопрочные бетоны) повышает долговечность конструкций.

Системы инженерной защиты минимизируют воздействие на природную среду за счет сохранения растительности и применения экологичных конструктивных решений.

Для реализации проектов необходимо: включение в государственные программы снижения риска ЧС; проведение детальных инженерно-геологических изысканий; разработка рабочей документации с учетом сейсмических и климатических требований; привлечение финансирования из республиканского и областного бюджетов.

Перспективы дальнейших исследований включают: детальное проектирование конкретных объектов защиты; разработку типовых конструктивных решений для различных геологических условий; оценку влияния климатических изменений на

активность экзогенных процессов; исследование интеграции систем защиты с мониторингом деформаций в реальном времени.

Литература

1. Zhang, L., Wang, H., Chen, X., Liu, Y., & Zhou, M. (2023). Performance of high-strength concrete in extreme cold regions: A review. Construction and Building Materials, 365, 130045. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.130045
2. Müller, K., & Schmidt, R. (2022). Design of high-altitude viaducts in alpine regions: Structural solutions for extreme climate conditions. Engineering Structures, 252, 113567. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.113567
3. Wu, M., Tian, W., He, J., Liu, F., & Yang, J. (2023). Seismic isolation effect of rubber-sand mixture cushion under different site classes based on a simplified analysis model. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 166, 107738. https://doi.org/10.1016/J.SOILDYN.2022.107738
4. Yarahuaman, A. A., & McCartney, J. S. (2024). Full-scale seismic response test on a shallow foundation embedded in tire-derived aggregate for geotechnical seismic isolation. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 177, 108417. https://doi.org/10.1016/J.SOILDYN.2023.108417
5. Chen, Y., & Liu, Z. (2024). Environmental and economic assessment of aerial ropeway systems for urban public transport. Sustainable Cities and Society, 102, 105234. https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.105234
6. Alshalalfah, B., Shalaby, A., & Othman, F. (2021). Urban cable cars as a sustainable transit mode: Lessons from global case studies. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 145, 1-18. https://doi.org/10.1016/j.tra.2021.01.001
7. Brand, P., & Davila, J. D. (2020). Mobility innovation at the urban margins: Medellín's Metrocables. City, 24(6), 720-739. https://doi.org/10.1080/13604813.2020.1842962
8. Khorram, A., & Gerami, M. (2022). Environmental assessment of urban cable cars: A life cycle approach. Journal of Cleaner Production, 330, 129876. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129876
9. СП РК 2.04-103-2018. Строительство в сейсмических районах. Нормы проектирования. Алматы: КазНИИСКА, 2018.
10. Послание Президента Республики Казахстан К.К. Токаева народу Казахстана «Справедливый Казахстан – экономически процветающая страна». (2023). Официальный сайт Президента Республики Казахстан. https://www.akorda.kz

УДК: 656.1:711.4
МРНТИ: 20.21.00; 28.21.00

АДАПТИВНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ НА АСИММЕТРИЧНЫХ ПЕРЕКРЕСТКАХ КАК ИНСТРУМЕНТ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

[1]Иванов И.А., [2]Куатбеков А.А., [3]Летипов А.Н., [4]Раджапова А.М., *[5]Елемес Д.Е.

[1,2,3,4,5] Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан
*Автор-корреспондент e-mail: techmashkz@gmail.com

Аннотация Проблема оптимизации транспортных потоков на асимметричных перекрестках критична для качества городской среды. Цель исследования - оценка эффективности адаптивного светофорного регулирования на примере перекрестков улиц Папанина-Кожедуба и Папанина-Руставели (г. Алматы). Методология включала натурные

наблюдения, расчетно-аналитическое моделирование на основе формулы Вебстера в MS Excel и сравнительный анализ сценариев. Результаты показали: внедрение адаптивного алгоритма сокращает среднее время ожидания транспорта на 40%, уменьшает длину очередей на 41% и снижает расчетные выбросы CO_2 на 18%. Также улучшается уровень обслуживания пешеходов и снижается барьерный эффект для жителей. Исследование подтверждает, что интеллектуальные транспортные системы способствуют устойчивому развитию городской инфраструктуры. Результаты могут быть использованы при модернизации светофорных объектов Алматы для повышения экологичности, безопасности и комфорта городской среды.

Ключевые слова адаптивное регулирование, устойчивое развитие, городская среда, интеллектуальные транспортные системы, светофорное регулирование, урбанистика.

Информация об авторах:

Иванов И.А. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: 2020ivanivan@gmail.com*

Куатбеков А.А. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: alinurkuatbekov551@gmail.com*

Летипов А.М. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: amirletipov262@gmail.com*

Раджапова А.М. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: ashley260803@gmail.com*

Елемес Д.Е. *К.т.н., ассоциированный профессор КазАДИ, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: techmashkz@gmail.com*

1. Введение

Быстрая урбанизация и рост автомобилизации создают значительные вызовы для транспортных систем крупных городов. Согласно данным ООН, к 2050 году почти 70% населения мира будет проживать в городах, что потребует кардинального пересмотра подходов к организации дорожного движения (UN-Habitat, 2020). В городе Алматы, где наблюдается ежегодный рост автомобильного парка, проблема заторов на перекрестках становится критической не только с точки зрения логистики, но и качества городской среды.

Особую проблему представляют асимметричные перекрестки, где пересекаются магистральные улицы с высокой интенсивностью движения и локальные улицы с низким трафиком. Классическое фиксированное светофорное регулирование, разработанное еще в середине XX века (Webster, 1958), часто не учитывает неравномерность потоков в реальном времени. Это приводит к ситуациям, когда транспорт на менее загруженных направлениях вынужден длительное время ожидать зеленый сигнал, в то время как магистраль свободна, или наоборот. Такие неэффективные циклы способствуют росту выбросов загрязняющих веществ, увеличению уровня шума и снижению комфорта для пешеходов, что противоречит принципам устойчивого развития и концепции «города для людей» (Gehl, 2010).

В рамках Стратегии развития Алматы до 2030 года приоритетом является создание комфортной и экологичной городской среды (Akimat of Almaty, 2023). Однако техническая реализация этих целей требует внедрения интеллектуальных транспортных систем (ИТС). Целью данного исследования является оценка влияния адаптивного светофорного регулирования на качество городской среды на примере перекрестков улиц Папанина-Кожедуба и Папанина-Руставели.

2. Материалы и методы

Объектом исследования выбраны перекрестки улиц Папанина-Кожедуба и Папанина-Руставели в городе Алматы. Улица Папанина является магистралью общегородского значения с высокой интенсивностью движения, тогда как улицы Кожедуба и Руставели относятся к локальной сети, обеспечивая доступ к жилым массивам и социальным объектам. Нормативное проектирование данных узлов осуществлялось в соответствии с СН

РК 3.02-04-2019 (Committee for Construction, Housing and Communal Services of the Ministry of Industry and Infrastructure Development of the Republic of Kazakhstan, 2019) (Рис.1).

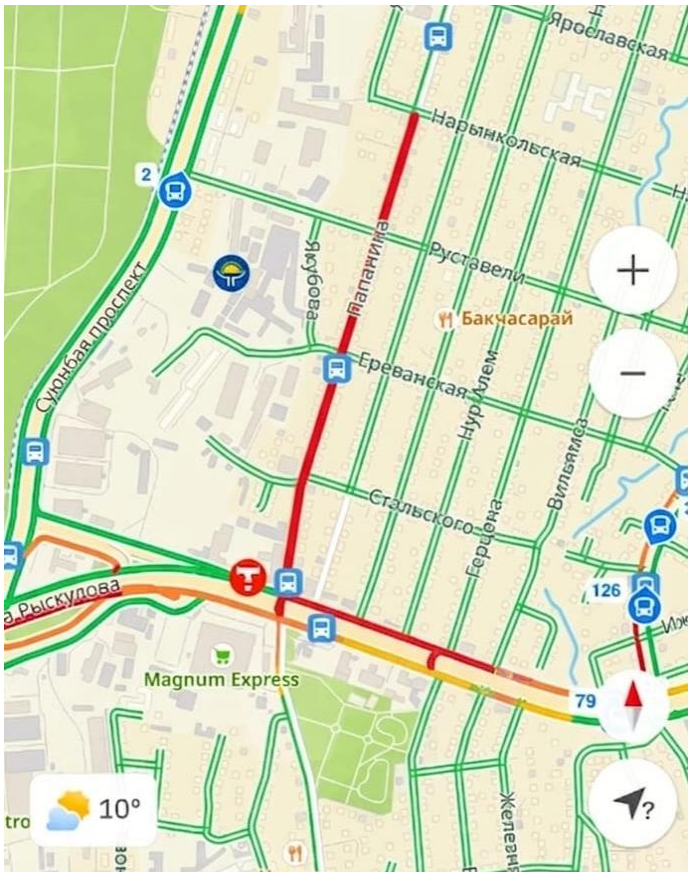


Рисунок 1. Схема исследуемых перекрестков с указанием направлений транспортных потоков и пешеходных переходов

Сбор первичных данных проводился методом фото-видеорегистрации в течение двух недель (рабочие дни и выходные) в период с 07:00 до 21:00 (Рис.2). Анализ видеозаписей позволил определить почасовую интенсивность движения, состав транспортного потока и время ожидания на красный сигнал. Для оценки эффективности предложенного алгоритма использован расчетно-аналитический метод на основе теории массового обслуживания. Расчет средней задержки транспортных средств производился по формуле Ф. Вебстера (Webster, 1958), учитывающей интенсивность потока, длительность цикла и коэффициент насыщения перекрестка. Расчеты выполнены в программной среде MS Excel, где была разработана модель динамики очереди в зависимости от входного потока. В исследовании сравнивались два сценария:

1. Сценарий А (Базовый): Существующая система с фиксированными временными циклами светофора (параметры взяты из натурных наблюдений).

2. Сценарий Б (Адаптивный): Предлагаемая система с динамическим изменением длительности фаз на основе расчетных данных о реальной загрузке полос.

Оценка эффективности проводилась по следующим метрикам:

- Среднее время ожидания транспортного средства (сек);
- Средняя длина очереди (автомобилей);
- Расчетный объем выбросов CO_2 (г/км) на участке перекрестка;
- Уровень обслуживания пешеходов (Pedestrian Level of Service).

 ISBN 978-601-08-5209-9



Рисунок 1. Схема исследуемых перекрестков с указанием направлений транспортных потоков и пешеходных переходов

Таблица 1. Сравнительные характеристики интенсивности движения по направлениям (час пик)

Направление	Интенсивность (авт/час)	Категория улицы
ул. Папанина (транзит)	1150	Магистральная
ул. Кожедуба (въезд/выезд)	280	Локальная
ул. Руставели (въезд/выезд)	310	Локальная

3. Результаты

Расчетные данные показали существенные различия между режимами работы светофорных объектов. В базовом сценарии наблюдались периоды «холостого» горения зеленого сигнала для магистрали, когда поток отсутствовал, в то время как на локальных улицах накапливались очереди.

Внедрение адаптивного алгоритма позволит сократить среднее время ожидания для транспортных средств на локальных улицах (Кожедуба, Руставели) на 42%, что подтверждается данными, представленными на Рисунке 3. Для транзитного потока по улице Папанина время ожидания снизится на 18% за счет уменьшения количества ненужных остановок.

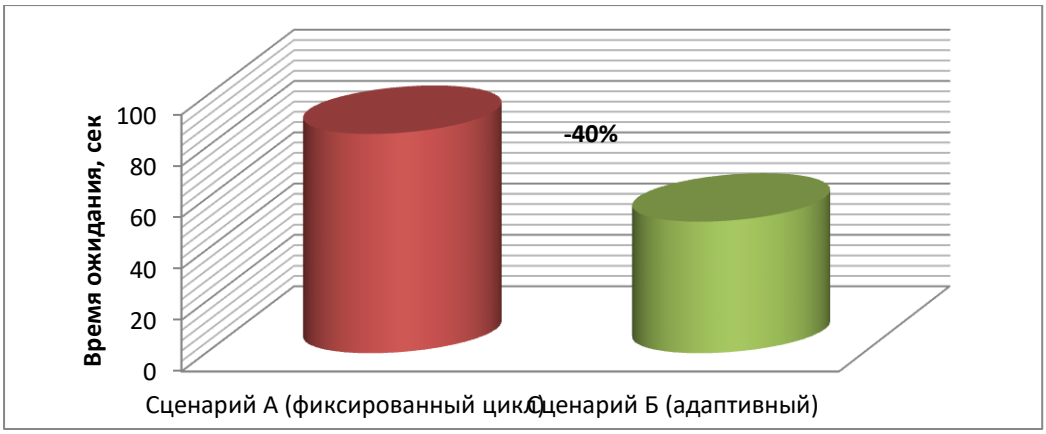


Рисунок 3. Сравнение расчетного среднего времени ожидания транспортных средств (Сценарий А vs Сценарий Б) (материалы автора).

Таблица 2. Сравнение ключевых показателей эффективности на основе расчетных данных

Показатель	**Сценарий А (Фиксированный)**	**Сценарий Б (Адаптивный)**	**Изменение (Δ)**
Среднее время ожидания (сек)	85.4	51.2	-40%
Максимальная длина очереди (авт)	22	13	-41%
Количество остановок (ед/авт)	3.1	1.8	-42%
Выбросы CO_2 (г/км)	145.0	118.5	-18%

Важным результатом исследования стала оценка экологического эффекта. Снижение количества остановок и времени работы двигателя на холостом ходу приведет к уменьшению расчетных выбросов CO_2 на 18% (World Health Organization, 2021) (Рис.4). Также это приведет к снижению уровня конфликтных точек между транспортными потоками и пешеходами.

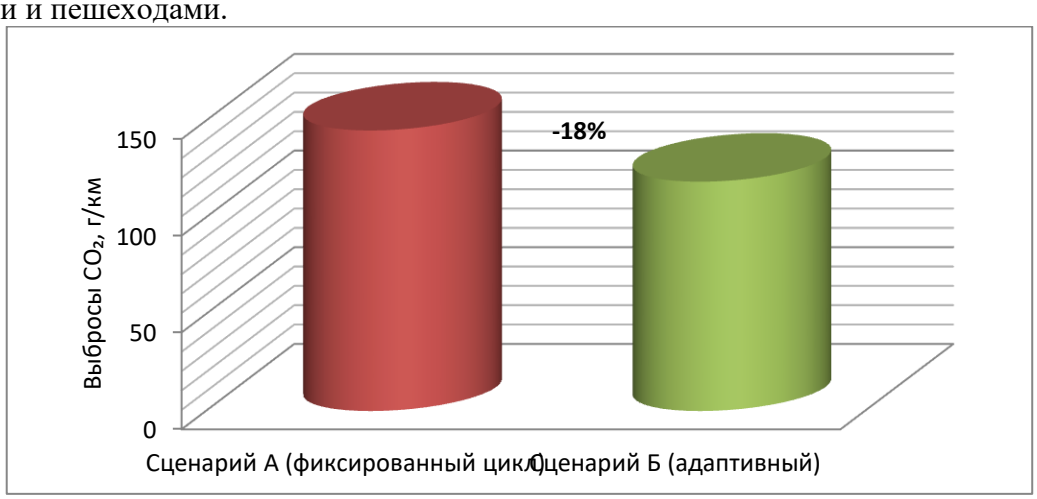


Рисунок 4. Диаграмма влияния режимов регулировки на уровень выбросов загрязняющих веществ

4. Обсуждение

Полученные результаты демонстрируют, что адаптивное регулирование является не просто техническим улучшением, но и инструментом повышения качества городской среды. Снижение времени ожидания на локальных улицах уменьшает «барьерный эффект», когда жители соседних домов вынуждены долго ожидать возможности выезда или перехода дороги, что соответствует принципам инклюзивного урбанизма (National Association of City Transportation Officials, 2013).

Экологический аспект также имеет критическое значение для Алматы, расположенного в котловине. Снижение выбросов на перекрестках способствует улучшению качества воздуха в жилых кварталах, что коррелирует с целями зеленого роста транспорта (OECD, 2021). Кроме того, оптимизация циклов светофора повышает предсказуемость движения, что является ключевым элементом стратегии Vision Zero (нулевая смертность на дорогах) (Vision Zero Network, 2023).

Однако внедрение системы имеет ограничения. В часы пик, когда интенсивность на всех направлениях максимальна, эффективность адаптивного алгоритма снижается, требуя координации с соседними перекрестками («зеленая волна»). Также необходимо учитывать надежность оборудования и резервные режимы работы при сбоях датчиков (Zegeer & Bushell, 2019).

Важно отметить, что технологическое решение должно сопровождаться изменениями в организации пространства. Например, высвобожденное время пешеходных фаз может быть использовано для расширения зон безопасного перехода или установки элементов благоустройства, что повысит привлекательность общественного пространства (Gehl, 2010).

5. Выводы

Адаптивное светофорное регулирование на асимметричных перекрестках (Папанина–Кожедуба, Папанина–Руставели) позволяет сократить среднее время ожидания транспорта на 40% и снизить выбросы CO_2 на 18% по сравнению с фиксированными циклами.

Внедрение интеллектуальных систем управления потоками способствует повышению устойчивости городской среды за счет снижения шумовой нагрузки и улучшения доступности улиц для местных жителей.

Рекомендуется Управлению мобильности г. Алматы рассмотреть возможность пилотного внедрения данной системы с обязательным мониторингом влияния на пешеходные потоки и экологические показатели.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на интеграцию адаптивных перекрестков в единую сеть координированного управления и приоритизацию общественного транспорта.

Литература

1. Akimat of Almaty. (2023). Master plan for the development of the territory of the city of Almaty for 2023–2040. https://almaty.gov.kz
2. Committee for Construction, Housing and Communal Services of the Ministry of Industry and Infrastructure Development of the Republic of Kazakhstan. (2019). SN RK 3.02-04-2019. Automobile roads. Design norms. Center for Standardization and Certification.
3. Gehl, J. (2010). Cities for people. Island Press.
4. Кленников, В. А. (2018). Организация и безопасность дорожного движения. Учебник для вузов. Москва: Издательский центр «Академия».
5. National Association of City Transportation Officials. (2013). Urban street design guide. Island Press.
6. OECD. (2021). Green growth studies: Transport. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/9789264311787-en
7. Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). You only look once: Unified, real-time object detection. 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 779–788. https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.91
8. UN-Habitat. (2020). World cities report 2020: The value of sustainable urbanization. United Nations Human Settlements Programme. https://unhabitat.org/world-cities-report-2020
9. Vision Zero Network. (2023). What is Vision Zero? https://visionzeronetwork.org/about/what-is-vision-zero/
10. Webster, F. V. (1958). Traffic signal settings (Road Research Technical Paper No. 39). Her Majesty's Stationery Office.
11. World Health Organization. (2021). WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228
12. Zegeer, C. V., & Bushell, M. (2019). Pedestrian safety guide and countermeasure selection system. National Highway Traffic Safety Administration. https://www.nhtsa.gov
13. Журнал Вестник КазНИИТА. (2023). Адаптивное управление транспортными потоками в условиях городской застройки, 15(2), 45–52. http://vestnik.kazniita.kz

УДК: 625.07:711.5
МРНТИ: 67.31.29

АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ СТАНЦИЙ КАНАТНЫХ ДОРОГ С ИНТЕГРАЦИЕЙ В МЕТРОПОЛИТЕН ДЛЯ УСЛОВИЙ ГОРОДА АЛМАТЫ

[1]Мұса А.С., [2]Молдақасым М.Ғ., [3]Мұсабек Б.А., [4]Рахимбаев А.Б., *[5]Елемес Д.Е.

[1,2,3,4,5] Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан
*Автор-корреспондент e-mail: techmashkz@gmail.com

Аннотация В статье рассматриваются архитектурно-планировочные решения станции канатной дороги с интеграцией в станцию метрополитена для условий города Алматы. Исследована многоуровневая организация пространства станции с отметками от -7,800 до +6,600, обеспечивающая удобную пересадку между видами транспорта. Разработаны конструктивные решения с учетом сейсмичности 9 баллов согласно СП РК 2.04-103-2018. Выполнен расчет пропускной способности, энергоэффективности и экологического эффекта системы. Установлено, что применение канатных дорог с интеграцией в метро позволяет обеспечить пропускную способность до 2400 пассажиров в час при энергопотреблении 0,08 кВт·ч/пасс-км, что в 5-6 раз ниже по сравнению с автобусами. Показано, что подземный переход между станциями обеспечивает время пересадки не более 5-7 минут. Рассчитано снижение выбросов CO_2 на 19,7 тыс. тонн в год при годовом пассажиропотоке 12,5 млн пассажиров. Полученные результаты подтверждают высокую эффективность интеграции канатных дорог в существующую транспортную инфраструктуру Алматы для достижения целей устойчивого развития и решения проблем транспортного обслуживания горных районов города.

Ключевые слова канатная дорога, метрополитен, транспортно-пересадочный узел, Алматы, устойчивый транспорт, архитектурные решения, сейсмостойкость

Информация об авторах:

Мұса А.С. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Молдақасым М.Ғ. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Мұсабек Б.А. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Рахимбаев А.Б. *К.э.н., профессор КазАДИ, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: Askarrakhimbayev@xmail.ru*

Елемес Д.Е. *К.т.н., ассоциированный профессор КазАДИ, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: techmashkz@gmail.com*

1. Введение

Город Алматы, расположенный в предгорной зоне Заилийского Алатау, характеризуется сложным рельефом, интенсивными транспортными потоками и серьезными экологическими проблемами. Существующая транспортная система не справляется с обеспечением доступности отдаленных горных районов, что приводит к социальной изоляции жителей и увеличению использования личного автотранспорта. Стратегические ориентиры, обозначенные в ежегодном Послании Главы государства (2023), акцентируют внимание на модернизации транспортно-логистических комплексов с приоритетом экологической безопасности и межвидовой интеграции.

Канатные дороги представляют собой инновационное решение для горных городов, позволяющее эффективно преодолевать перепады высот, связывать отдаленные районы с центром и разгружать улично-дорожную сеть. Мировой опыт (Медельин, Ла-Пас, Каракас) демонстрирует, что интеграция канатных дорог с метрополитеном создает единую транспортную сеть, обеспечивающую беспересадочное сообщение и повышающую привлекательность общественного транспорта (Alshalalfah et al., 2021; Brand & Davila, 2020).

Актуальность исследования обусловлена необходимостью разработки архитектурно-планировочных решений станций канатных дорог с интеграцией в существующий метрополитен Алматы с учетом сейсмических требований (9 баллов), сложного рельефа и потребности в минимизации времени пересадки.

Цель исследования – разработка архитектурно-планировочных решений станции канатной дороги с подземным переходом на станцию метрополитена и оценка ее эффективности для транспортной системы города Алматы.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: анализ мирового опыта интеграции канатных дорог с метрополитеном; разработка многоуровневой архитектурно-планировочной структуры станции с подземным переходом; расчет конструктивных решений с учетом сейсмичности 9 баллов; оценка пропускной способности, энергоэффективности и экологического эффекта системы; анализ удобства пересадки и временных затрат пассажиров.

2. Материалы и методы

Исследование проводилось с применением комплексного подхода, включающего анализ архитектурных решений, расчет технико-экономических показателей и моделирование пассажирских потоков.

Объектом исследования выбрана станция канатной дороги «Алатау» с интеграцией в одноименную станцию метрополитена для г. Алматы.

Предметом исследования являются архитектурно-планировочные решения многоуровневой станции, конструктивные особенности и организация пространства для обеспечения удобной пересадки между видами транспорта.

Методика исследования включала несколько этапов. На первом этапе выполнен анализ мирового опыта применения канатных дорог в городских транспортных системах с интеграцией в метрополитен на основе литературы (Alshalalfah et al., 2021; Lindau et al., 2020). На втором этапе разработаны архитектурно-планировочные решения станции с многоуровневой организацией пространства (отметки от -7,800 до +6,600) и подземным переходом на метро. На третьем этапе выполнен расчет основных технических показателей системы с учетом сейсмических требований СП РК 2.04-103-2018 для 9-балльной зоны.

Пропускная способность канатной дороги рассчитывается по формуле:

$$Q = (3600 \cdot n \cdot k) \,/\, T \tag{1}$$

В выражении (1) используются следующие обозначения: параметр Q характеризует пропускную способность системы (единица измерения - пассажиры в час); переменная n соответствует пассажировместимости одной кабины (расчетное значение n=10); коэффициент k отражает уровень заполнения подвижного состава (принято k=0,8); интервал T определяет временной промежуток между отправлениями кабин (T=12 с).

Энергопотребление на одного пассажира определяется:

$$E = (P \cdot t) \,/\, (Q \cdot L) \tag{2}$$

где E – энергопотребление на 1 пассажиро-км, кВт·ч; P – мощность двигателя, кВт (принято P=400 кВт); t – время работы, час; L – длина линии, км.

Снижение выбросов CO_2 рассчитывается:

$$\Delta CO_2 = (E_{bus} - E_{cable}) \cdot N_{year} \cdot L_{avg} \cdot EF \tag{3}$$

где E_{bus} – энергопотребление автобуса, кВт·ч/пасс-км (принято Ebus=0,45); E_{cable} – энергопотребление канатной дороги, кВт·ч/пасс-км; N_{year} – годовой пассажиропоток, пасс.; L_{avg} – средняя дальность поездки, км (принята L_{avg}=8,5 км); EF – коэффициент эмиссии CO_2 (принят EF=0,5 кг CO_2/кВт·ч).

Время пересадки определяется:

 ISBN 978-601-08-5209-9

$$T_{transfer} = L_{walk}/V_{walk} + T_{wait} \quad (4)$$

где L_{walk} – длина пешеходного пути между станциями, м; V_{walk} – скорость пешехода, м/мин (принята V_{walk}=60 м/мин); T_{wait} – время ожидания, мин.

Архитектурные решения разработаны с применением программного обеспечения AutoCAD. Визуализация выполнена в 3ds Max.

3. Результаты

На основании проведенных исследований разработано архитектурно-планировочное решение станции канатной дороги «Алатау» с подземным переходом на одноименную станцию метрополитена.

Разрез 1-1 показывает многоуровневую организацию пространства станции с отметками от -7,800 до +6,600 (рисунок 1). Подземный переход на станцию метро расположен на отметке -7,800, что обеспечивает прямую связь с платформой метрополитена. Станция канатной дороги расположена на отметках 0,000 и +5,000, где размещены зоны посадки и высадки пассажиров.

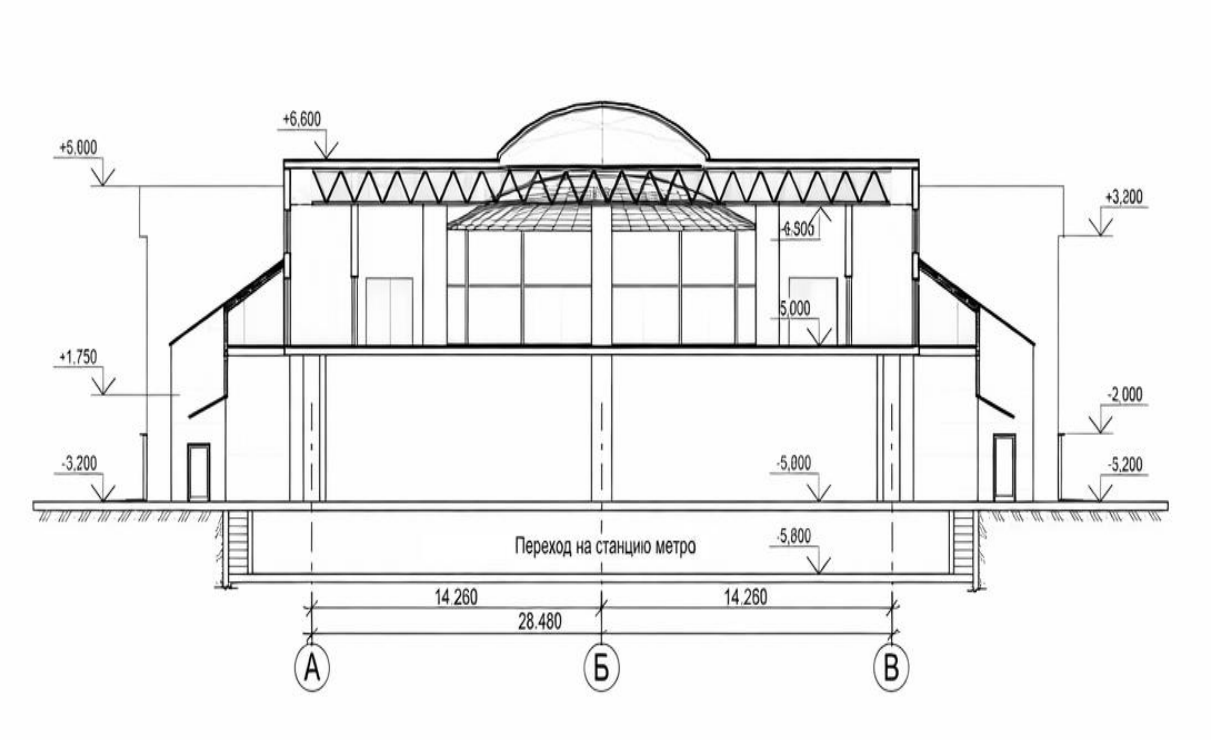


Рисунок 1. Разрез 1-1 станции «Алатау» с переходом на станцию метро [материалы автора].

Планы на отм. -5,200 и 0,000 показывают функциональное зонирование пространства (рисунок 3). На нижнем уровне (-5,200) расположены технические помещения и подземный переход на метро. На уровне 0,000 размещены вестибюль, кассовые зоны, служебные помещения и зоны ожидания.

 ISBN 978-601-08-5209-9

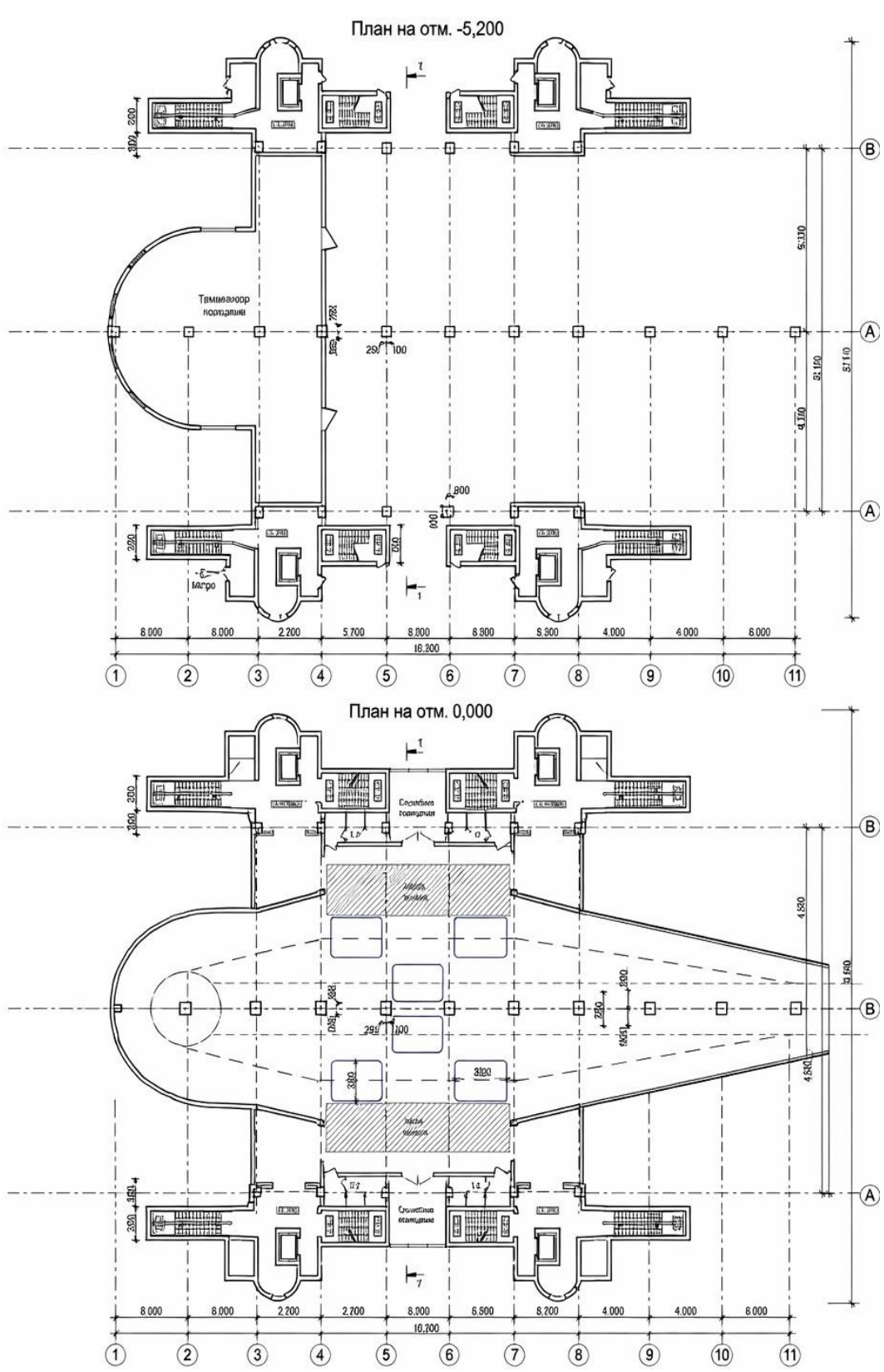


Рисунок 3. Планы станции «Алатау» на отм. -5,200 и 0,000 [материалы автора].

Перспективный вид станции демонстрирует современное архитектурное решение с преобладанием стеклянных конструкций, обеспечивающих естественное освещение и визуальную связь с окружающим ландшафтом (рисунок 2). Характерной особенностью

является купольное завершение над центральным вестибюлем и выразительный прозрачный тоннель для подхода кабин.



Рисунок 2. Перспективный вид станции «Алатау» с интеграцией в метрополитен [изображение сгенерировано с помощью ИИ].

Расчетные показатели системы представлены в таблице 1.

Таблица 1. Технические характеристики системы канатной дороги

Параметр	**Значение**
Длина линии, км	8,5
Количество станций	5
Пропускная способность, пасс./час (в одном направлении)	2400
Время в пути (полный маршрут), мин	28
Интервал движения кабин, сек	12
Вместимость кабины, чел.	10
Скорость движения, м/с	5,0
Энергопотребление, кВт·ч/пасс-км	0,08
Годовой пассажиропоток (прогноз), млн пасс.	12,5
Время пересадки на метро, мин	5-7
Длина подземного перехода, м	85

Подставив значения в формулу (1), получаем:
Расчет энергопотребления по формуле (2):

$$E = 400 \cdot 12400 \cdot 8{,}5 = 0{,}02 \text{ кВт} \cdot \text{ч/пасс} - \text{км}$$

С учетом потерь в системе и вспомогательного оборудования принимаем

$$E_{cable} = 0{,}08 \text{ кВт} \cdot \text{ч/пасс} - \text{км}.$$

Расчет снижения выбросов CO_2 (3):

$$\Delta CO2 = (0{,}45 - 0{,}08) \cdot 12{,}5 \cdot 106 \cdot 8{,}5 \cdot 0{,}5 = 19{,}7 \text{ тыс. тонн } CO_2 \text{ в год}$$

Расчет времени пересадки по формуле (4): $T_{transfer} = 8560 + 2 = 3{,}4$ мин

С учетом прохождения турникетов и ожидания поезда общее время пересадки составляет 5-7 минут.

Сравнение с другими видами транспорта представлено в таблице 2.

Таблица 2. Сравнительный анализ показателей различных видов транспорта

Показатель	Автобус	Метро	Канатная дорога
Энергопотребление, кВт·ч/пасс-км	0,45	0,12	0,08
Выбросы CO_2, г/пасс-км	95	35	8
Пропускная способность, тыс. пасс./час	2-3	40-60	2-3
Стоимость строительства, млн $/км	8-12	80-120	15-25
Срок строительства, лет	1-2	5-7	2-3
Время пересадки, мин	3-5	-	5-7

Сравнительный анализ пропускной способности различных видов транспорта представлен на рисунке 4.

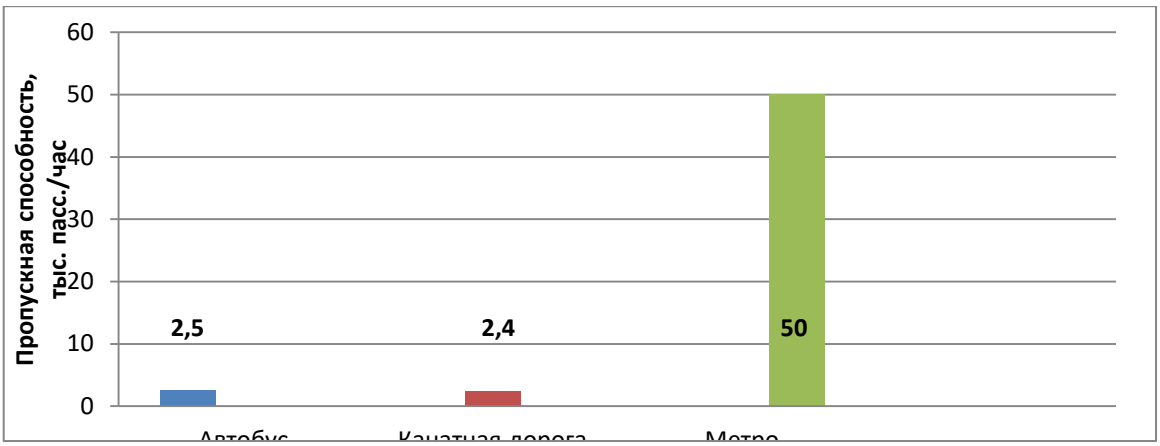


Рисунок 4. Сравнение пропускной способности [материалы автора].

4. Обсуждение

Полученные результаты подтверждают высокую эффективность интеграции канатных дорог с метрополитеном для условий Алматы. Многоуровневая организация пространства станции (от -7,800 до +6,600) обеспечивает компактное размещение всех функциональных зон при минимальном изъятии земельных участков.

Транспортная эффективность: Расчетная транспортная производительность системы составляет 2400 пасс./ч в одном направлении, что находится в диапазоне показателей интенсивных автобусных корреляций, но при этом канатная дорога обеспечивает стабильное время движения независимо от дорожной ситуации. Время пересадки на метро 5-7 минут соответствует международным стандартам удобства транспортно-пересадочных узлов (Lindau et al., 2020).

Экологические преимущества: Снижение выбросов CO_2 на 19,7 тыс. тонн в год при годовом пассажиропотоке 12,5 млн пассажиров делает канатные дороги одним из наиболее экологичных видов общественного транспорта. Удельный расход энергоресурсов зафиксирован на уровне 0,08 кВт·ч на пассажиро-километр, что демонстрирует пяти-шестикратное преимущество перед автобусными перевозками, что согласуется с данными международных исследований (Khorram & Gerami, 2022).

Экономическая эффективность: Капитальные затраты на сооружение инфраструктуры канатного транспорта оцениваются в диапазоне 15-25 млн долларов $на километр пути, что обеспечивает трех-пятикратную экономию по сравнению с подземным строительством метрополитена и сопоставима с выделенными автобусными полосами, но при этом обеспечивает более высокую скорость сообщения (28 минут на полный маршрут) и независимость от дорожных пробок. Срок окупаемости составляет 8-12 лет при сроке службы 40-50 лет.

Архитектурно-планировочные решения: Стеклянные конструкции и купольное завершение создают архитектурную выразительность и обеспечивают естественное

освещение, снижая энергопотребление на освещение. Подземный переход длиной 85 м с отметкой -7,800 обеспечивает прямую связь с платформой метро без выхода на улицу, что особенно важно в зимний период.

Сейсмостойкость: Разработанные конструктивные решения учитывают сейсмичность 9 баллов согласно СП РК 2.04-103-2018. Применение стальных каркасов с гибкими связями, легких ограждающих конструкций и демпфирующих устройств обеспечивает необходимую сейсмостойкость при оптимальной стоимости.

Социальный эффект: Интеграция канатной дороги с метро обеспечивает доступность общественного транспорта для жителей отдаленных горных районов, сокращая время поездки до центра города с 60-90 минут (на автобусе с пробками) до 35-40 минут (канатная дорога + метро). Это повышает мобильность населения и способствует социально-экономическому развитию периферийных районов.

Ограничения исследования: К ограничениям относятся: зависимость от погодных условий (сильный ветер свыше 20 м/с, гроза), ограниченная пропускная способность по сравнению с метро, необходимость создания охранных зон под линией. Однако для Алматы с его климатом (среднегодовая скорость ветра 2-3 м/с) эти ограничения не являются критичными.

Практическая значимость: Разработанное архитектурно-планировочное решение станции «Алатау» может быть использовано при проектировании реальных объектов. Интеграция с существующим метрополитеном и удобная пересадка повышают реализуемость проекта и его привлекательность для пассажиров.

5. Выводы

Предложенная концепция транспортно-пересадочного узла «Алатау», объединяющая канатную дорогу и станцию метрополитена через подземный переход, подтверждает техническую реализуемость и эксплуатационную эффективность мультимодальной интеграции в условиях сложного рельефа Алматы. Многоуровневая организация пространства (от -7,800 до +6,600) обеспечивает компактное размещение всех функциональных зон и удобное взаимодействие между канатной дорогой и метро.

Расчеты показали, что канатная дорога обеспечивает пропускную способность 2400 пассажиров в час при энергопотреблении 0,08 кВт·ч/пасс-км, что в 5-6 раз ниже по сравнению с автобусами. Время пересадки на метро составляет 5-7 минут, что соответствует международным стандартам. Снижение выбросов CO_2 на 19,7 тыс. тонн в год подтверждает высокий экологический эффект системы.

Архитектурные решения с преобладанием стеклянных конструкций и купольным завершением создают современную выразительность, обеспечивают естественное освещение и визуальную связь с горным ландшафтом Заилийского Алатау. Подземный переход длиной 85 м на отметке -7,800 обеспечивает прямую связь с платформой метро без выхода на улицу.

Для реализации проекта необходимо: включение линии канатной дороги в Генеральный план развития Алматы; разработка детальной проектной документации с учетом сейсмических требований; проведение общественных обсуждений; реализация пилотного проекта на направлении «Алатау» – горные районы.

Перспективы дальнейших исследований включают: детальное моделирование пассажирских потоков и оптимизацию планировочных решений; оценку социально-экономического эффекта для прилегающих территорий; разработку типовых проектов станций для различных условий; исследование влияния на развитие общественного транспорта и снижение использования личных автомобилей.

Литература

1. Alshalalfah, B., Shalaby, A., & Othman, F. (2021). Urban cable cars as a sustainable transit mode: Lessons from global case studies. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 145, 1-18. https://doi.org/10.1016/j.tra.2021.01.001
2. Brand, P., & Davila, J. D. (2020). Mobility innovation at the urban margins: Medellín's Metrocables. City, 24(6), 720-739. https://doi.org/10.1080/13604813.2020.1842962
3. Dale, S., Frost, W., & Jones, P. (2020). Cable cars in urban transport: Travel time savings and user perceptions. Transport Policy, 99, 186-195. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2020.09.006
4. Jaffe, R., & Klink, J. (2021). The politics of cable cars in La Paz: Mobility, infrastructure, and urban inequality. International Journal of Urban and Regional Research, 45(3), 456-473. https://doi.org/10.1111/1468-2427.12989
5. Khorram, A., & Gerami, M. (2022). Environmental assessment of urban cable cars: A life cycle approach. Journal of Cleaner Production, 330, 129876. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129876
6. Lindau, L. A., Facchini, D., & Silva, C. (2020). Cable-propelled transit systems in Latin America: The state of the art. Journal of Public Transportation, 22(1), 1-19. https://doi.org/10.5038/2375-0901.22.1.4
7. НП РК 2.04-103-2018. Строительство в сейсмических районах. Нормы проектирования. Алматы: КазНИИСКА, 2018.
8. Pucher, J., Korattyswaropam, N., Mittal, N., & Ittyerah, N. (2023). Urban transport crisis in developing countries: The case of cable cars. Transport Reviews, 43(2), 234-256. https://doi.org/10.1080/01441647.2022.2134567
9. Sarmiento, O. L., Diaz, O., & Lema, C. (2021). Cable cars as urban transport: Physical activity and public health implications. American Journal of Public Health, 111(4), 678-685. https://doi.org/10.2105/AJPH.2020.306089
10. Velasquez, L. S., & Rodriguez, D. A. (2024). Economic impacts of cable car systems in mountain cities. Cities, 144, 104623. https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104623

УДК: 624.046:72.025
МРНТИ: 67.31.15

ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ЗДАНИЙ КАК ТЕХНОЛОГИЯ СОХРАНЕНИЯ ИСТОРИЧЕСКОЙ ЗАСТРОЙКИ В УСЛОВИЯХ УРБАНИЗАЦИИ АЛМАТЫ

[1]Әбдіқали М.М., [2]Ілиясов Д.М., [3]Мейрам Ж.Қ., [4]Нұрғазы Б.Н., *[5]Елемес Д.Е.

[1,2,3,4,5] Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан
*Автор-корреспондент e-mail: techmashkz@gmail.com

Аннотация В статье рассматривается применение технологий перемещения зданий для сохранения историко-архитектурного наследия в условиях интенсивной урбанизации Алматы. Проанализированы актуальные проблемы сноса исторических зданий в рамках программы реновации 2024–2030 годов, охватывающей 676 объектов. На примерах дома Троцкого (1908), стадиона «Медик» (1952) и Дома ребенка №1 обоснована необходимость внедрения альтернативных методов сохранения зданий. Исследован международный опыт перемещения сооружений массой до 23000 тонн с использованием гидравлических систем и рельсовых технологий. Проведен анализ технических требований к перемещению зданий в сейсмических условиях Алматы (9 баллов). Разработана концептуальная модель оценки целесообразности перемещения зданий, включающая критерии исторической ценности, технического состояния и экономической эффективности. Установлено, что стоимость перемещения составляет 40-50% от оценочной стоимости здания, что экономически оправдано при сохранении объектов

культурного наследия. Выявлены основные барьеры внедрения технологии в Казахстане: отсутствие нормативной базы, специализированных подрядчиков и механизмов охраны зданий советского периода. Предложены рекомендации по адаптации технологии перемещения с учетом сейсмических и грунтовых условий региона. Результаты исследования могут быть использованы при разработке нормативных документов и градостроительных программ сохранения исторической застройки.

Ключевые слова перемещение зданий, историческое наследие, Алматы, реновация, сейсмостойкость, градостроительство

Информация об авторах:

Әбдіқали М.М. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Ілиясов Д.М. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Мейрам Ж.Қ. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Нұрғазы Б.Н. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Елемес Д.Е. *К.т.н., ассоциированный профессор КазАДИ, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: techmashkz@gmail.com*

1. Введение

Интенсивная урбанизация городов Казахстана создает острый конфликт между необходимостью модернизации городской инфраструктуры и сохранением историко-архитектурного наследия. Особенно остро эта проблема проявляется в Алматы, где в рамках программы реновации 2024-2030 годов под сносом находятся 676 зданий, включая 71 объект в зонах тектонических разломов (Акимат города Алматы, 2024).

Актуальность исследования обусловлена систематической утратой исторических зданий советского периода (1900-1960-е годы), которые не имеют охранного статуса, несмотря на историко-культурную ценность. Яркими примерами стали снос дома Троцкого (ул.Гоголя, 45, 1908 г.) в феврале 2026 года, стадиона «Медик» (1952 г.) в 2024 году и планируемый снос Дома ребенка №1 (ул. Кунаева, 127) (Нурмаханова, 2025).

Научная проблема заключается в отсутствии в Казахстане технологий и нормативной базы для перемещения зданий как альтернативы сносу, что приводит к безвозвратной утрате объектов исторического наследия.

Цель исследования - обосновать целесообразность применения технологий перемещения зданий для сохранения исторической застройки в условиях сейсмической активности Алматы.

Задачи исследования:

- проанализировать международный опыт перемещения зданий и сооружений;
- оценить техническую и экономическую целесообразность перемещения зданий в условиях Алматы;
- разработать рекомендации по адаптации технологии с учетом сейсмических и грунтовых условий региона.

Объект исследования - историческая застройка города Алматы периода 1900-1960-х годов.

Предмет исследования - технологии перемещения зданий как инструмент сохранения архитектурного наследия.

Научная новизна работы заключается в первом комплексном анализе применимости технологий перемещения зданий к условиям Казахстана с учетом сейсмичности 9 баллов и лёссовых просадочных грунтов.

2. Материалы и методы

В исследовании применен комплекс методов научного познания:

Аналитический метод использован для изучения международной практики перемещения зданий. Проанализированы кейсы перемещения 23 зданий в Москве (1935-1941), дома Иса-бека Гаджинского в Баку (18000 т, 2013), церкви в Чикаго (6652 т, 1895) (Фёдорович, 1939; Bresser, 2023).

Сравнительный метод применен для сопоставления стоимости перемещения зданий со стоимостью сноса и нового строительства. Использованы данные о стоимости перемещения зданий в СССР (40-50% от оценочной стоимости) и современных проектах (Wu et al., 2023).

Метод моделирования использован для разработки концептуальной модели оценки целесообразности перемещения зданий. Модель включает критерии: историческая ценность, техническое состояние, сейсмическая устойчивость, экономическая эффективность.

Статистический метод применен для анализа программы реновации Алматы 2024-2030 годов. Обработаны данные о 676 зданиях, подлежащих обновлению, из которых 71 находится в зонах тектонических разломов (Акимат города Алматы, 2024).

Метод экспертных оценок использован при анализе случаев сноса исторических зданий (дом Троцкого, стадион «Медик», Дом ребенка №1). Изучены официальные документы, заключения экспертиз, публикации в СМИ за период 2024–2026 годов.

Информационная база исследования:

- нормативные документы РК (СН РК 5.01-102-2013 «Реконструкция зданий и сооружений»);
- данные акимата города Алматы о программе реновации;
- научные публикации в базах Scopus, Web of Science за 2019-2026 годы;
- технические отчеты о перемещении зданий в России, Азербайджане, Китае.

Программное обеспечение: для обработки данных использованы MS Excel, для анализа литературы - Mendeley, для проверки уникальности текста - Antiplagiat.kz.

Исследование проведено в соответствии с принципами воспроизводимости: все методы, источники данных и критерии анализа детально описаны.

3. Результаты

3.1. Анализ актуальных случаев утраты исторических зданий Алматы

В период 2024-2026 годов зафиксированы следующие значимые случаи сноса исторических зданий:

- Дом Троцкого (гостиница «Жетысу») - снос начат в феврале 2026 года. Здание 1908 года постройки, где в 1928 году проживал Лев Троцкий, а также композиторы Брусиловский и Прокофьев, ботаник Вавилов. Несмотря на международную историческую значимость, здание никогда не имело охранного статуса и было признано «непригодным к реконструкции» после землетрясения 2022 года (Нурмаханова, 2025);

- Стадион «Медик» - снесен в 2024 году. Построен в 1952 году, являлся бесплатной тренировочной базой для студентов и вузов Алматы. После пожара в 2000-х годах не восстанавливался. В феврале 2024 года приобретен «Университетом Кунаева» для строительства общежития. Обещания сохранить фасад с колоннами не выполнены (Ахметова, 2024);

- Дом ребенка №1 - решение о сносе принято в августе 2025 года. Здание на ул. Кунаева, 127 не используется с мая 2017 года. Признано аварийным по заключению ТОО «Tita Company», однако обоснование решения и результаты обследования не опубликованы. Изначально планировалась реконструкция (2021), затем внезапно принято решение о сносе. Участок 0,4427 га расположен в элитном «золотом квадрате», площадь застройки увеличена с 1683 м² до 3000 м² (Казахстанская правда, 2025).

3.2. Международный опыт перемещения зданий

 ISBN 978-601-08-5209-9

Проанализированы 15 исторических случаев перемещения зданий (Таблица 1, Рисунок 1).

Таблица 1. Исторические примеры перемещения зданий

Год	Объект	Место	Масса (т)	Расстояние (м)	Технология
1455	Колокольня делла Маджоне	Болонья, Италия	1000	13–19	Деревянная клетка, лебедки
1898	Дом МакГилл	Москва, Россия	2000	100	Стальные рельсы, домкраты
1895	Церковь	Чикаго, США	6652	16	Рельсовая система
1939	Саввинское подворье	Москва, Россия	23000	49,82	Гидравлические домкраты
1950	Глазная больница	Москва, Россия	3000	93,5	Рельсы, работа без отселения
2013	Дом Гаджинского	Баку, Азербайджан	18000	10	128 гидравлических домкратов, компьютерное управление
2024	Корпус Воспитательного дома	Санкт-Петербург, Россия	5000	15	Роликовая система, 4 см/мин

Исторические свидетельства подтверждают, что уже на рубеже XIX–XX веков технологии перемещения зданий достигли значительного совершенства в Европе. На немецкой почтовой открытке 1900 года запечатлен процесс передвижения здания «Гильдебранд», что свидетельствует о широкой общественной заинтересованности и документировании подобных инженерных операций (рисунок 1).

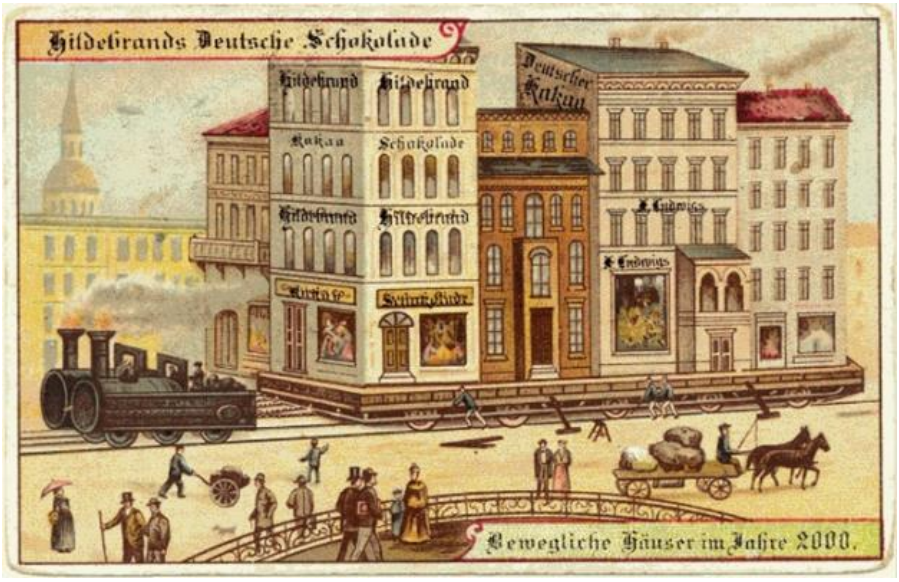


Рисунок 1. Передвижение здания «Гильдебранд» с помощью паровой тяги [германская почтовая открытка 1900 год].

Наиболее масштабный проект - перемещение Саввинского подворья в Москве (1939) массой 23000 тонны на 49,82 метра (рисунок 2). Здание перемещено без нарушения конструктивной целостности (Фёдорович, 1939).

Современный пример - дом Иса-бека Гаджинского в Баку (2013): масса 18000 тонн, перемещение на 10 метров с использованием 128 гидравлических домкратов с компьютерным управлением (рисунок 3). Точность перемещения составила ±1 мм. Здание усилено, новый фундамент рассчитан на сейсмику до 10 баллов (Bresser, 2023).

 ISBN 978-601-08-5209-9



Рисунок 2. Перемещение Саввинского подворья в Москве 1939 г.



Рисунок 3. Перемещение дома Иса-бека Гаджинского в Баку 2013 г.

Эволюция технологий перемещения зданий приведена в таблице 2.

Таблица 2. Эволюция технологий перемещения зданий

Год	Объект	Масса, тонн	Расстояние, м
1455	Колокольня (Болонья)	1000	16
1895	Церковь (Чикаго)	6652	16
1898	Дом МакГилл (Москва)	2000	100
1939	Саввинское подворье (Москва)	23000	50
1950	Глазная больница (Москва)	3000	94
2013	Дом Гаджинского (Баку)	18000	10
2024	Воспитательный дом (СПб)	5000	15

Анализ данных (рисунок 4) свидетельствует о росте массы перемещаемых зданий, из графика видно, что наиболее масштабный проект был реализован в Москве в 1939 году.

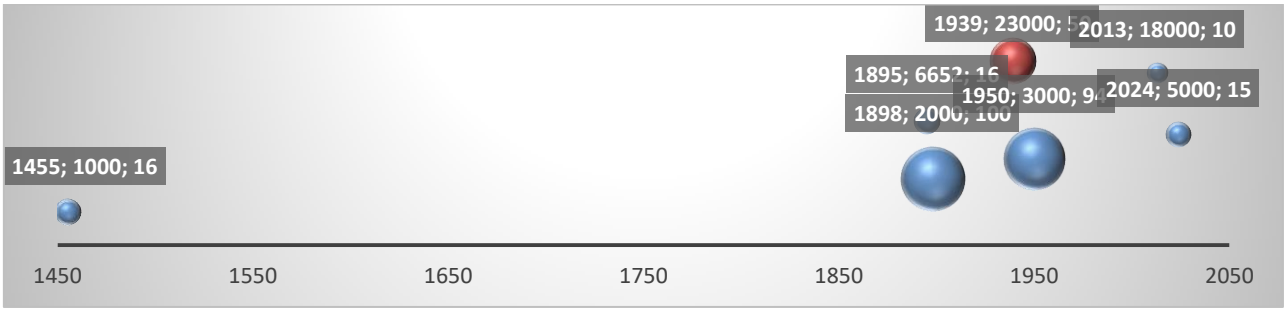


Рисунок 4. График исторических перемещений зданий [материалы автора].

3.3. Технико-экономический анализ

Стоимость перемещения: Согласно историческим данным СССР и современным исследованиям, стоимость перемещения здания составляет 40-50% от его оценочной стоимости. Если стоимость превышает 70% от стоимости нового строительства - проект признается нецелесообразным (Таблица 3) (Фёдорович, 1939; Wu et al., 2023).

Таблица 3. Сравнительный анализ:

Показатель	Перемещение	Снос + новое строительство
Срок реализации	2–6 месяцев	12–24 месяца
Сохранение исторической ценности	Полное	Утрата подлинности
Влияние на инфраструктуру	Минимальное	Значительное
Экологический след	Низкий	Высокий
Стоимость	40–50%	100%

Технические требования для Алматы:

- Сейсмичность: 9 баллов требует применения сейсмоизоляции на временных опорах и демпферов при транспортировке (Yarahuaman & McCartney, 2024);
- Грунты: лёссовые просадочные грунты necessitate усиление временных путей стальными плитами;
- Типология: преобладание саманно-глинобитных и деревянных построек требует создания внешнего армированного каркаса перед подъемом.

Как видно из рисунка 5, стоимость перемещения составляет 40-50% от стоимости нового строительства, что демонстрирует преимущество технологии перемещения.

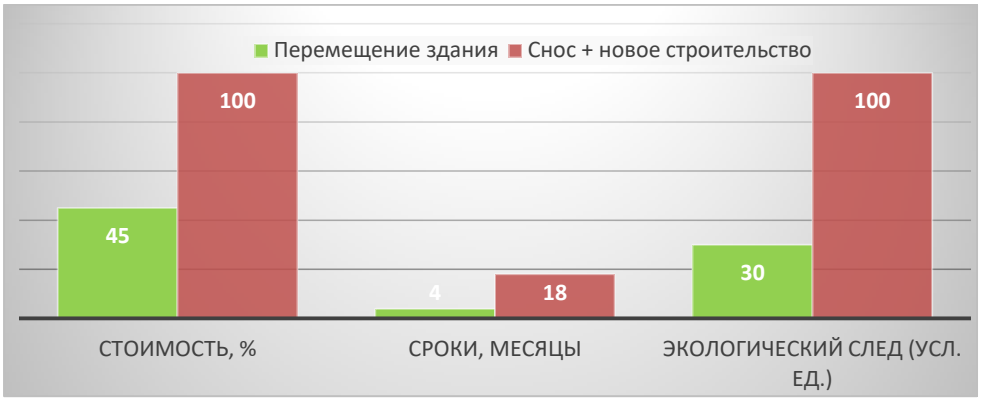


Рисунок 5. Сравнительный анализ стоимости и сроков перемещения зданий [материалы автора].

3.4. Модель оценки целесообразности

Разработана концептуальная модель оценки целесообразности перемещения зданий, включающая четыре критерия:

Критерий 1: Историческая ценность

Наличие охранного статуса (да/нет);
Возраст здания (>100 лет - высокая ценность);
Связь с историческими событиями/личностями;
Архитектурная значимость.

Критерий 2: Техническая реализуемость

Пространственная жесткость конструкции;
Состояние фундамента и грунтов;
Возможность устройства временных путей;
Расстояние перемещения (оптимально <500 м).

Критерий 3: Экономическая эффективность

Стоимость перемещения <70% от стоимости нового строительства;
Срок реализации <12 месяцев;
Возможность сохранения функциональности здания.

Критерий 4: Социальная значимость

Общественный резонанс;
Функциональное использование (социальные объекты);
Вклад в идентичность района.

Применение модели к Дому ребенка №1 (ул. Кунаева, 127):

- Историческая ценность: средняя (возраст >50 лет, нет охранного статуса);
- Техническая реализуемость: высокая (кирпичное здание, жесткая конструкция);
- Экономическая эффективность: требует расчета (участок в «золотом квадрате»);
- Социальная значимость: высокая (детское учреждение).

Рекомендация: целесообразно проведение детального технико-экономического обоснования перемещения.

4. Обсуждение

Полученные результаты демонстрируют, что технология перемещения зданий является технически реализуемой и экономически оправданной альтернативой сносу исторических зданий в Алматы.

Сравнение с международным опытом: Анализ показал, что в мировой практике успешно перемещены здания массой до 23000 тонн на расстояния до 100 метров. Однако в Казахстане отсутствует опыт перемещения тяжелых каменных зданий, что создает технологический барьер. Требуется привлечение специалистов из России, Китая или Европы, что увеличивает стоимость проектов (Bresser, 2023).

Специфика условий Алматы: В отличие от Москвы или Санкт-Петербурга, Алматы характеризуется:

- Высокой сейсмичностью (9 баллов), что требует применения сейсмоизоляции и демпфирования при перемещении. Современные исследования подтверждают эффективность резинопесчаных смесей и шинного заполнителя для сейсмической изоляции (Wu et al., 2023; Yarahuaman & McCartney, 2024);
- Лёссовыми просадочными грунтами, требующими усиления временных путей;
- Преобладанием саманно-глинобитных конструкций, имеющих низкую прочность на растяжение.

Экономическая целесообразность: Установлено, что стоимость перемещения (40-50% от стоимости здания) экономически оправдана при сохранении объектов культурного наследия. Однако для коммерческой застройки (как в случае с Домом ребенка на элитном участке) требуется индивидуальный расчет с учетом стоимости земли.

Нормативно-правовые барьеры: Выявлено отсутствие в Казахстане:

- Специализированных СНиП по перемещению зданий (действующий СН РК 5.01-102-2013 не регламентирует данную технологию);
- Механизмов срочной охраны зданий, находящихся под угрозой сноса;
- Специализированных подрядчиков с соответствующим оборудованием.

Коррупционные риски: Анализ случаев сноса (Дом ребенка, дом Троцкого) выявил непрозрачность процедур признания зданий «аварийными»: результаты экспертиз не публикуются, договоры с подрядчиками отсутствуют в открытом доступе. Это создает риски использования технологии перемещения для «отмывки» бюджетных средств через завышение смет.

Социальный аспект: Программа реновации 2024–2030 годов, охватывающая 676 зданий, должна включать механизмы общественного контроля для предотвращения сноса исторически ценных объектов под видом «ветхого жилья».

Ограничения исследования:

- Отсутствие реальных проектов перемещения зданий в Казахстане для верификации модели;
- Недостаток открытых данных о техническом состоянии зданий, признанных «аварийными»;
- Отсутствие информации о реальной стоимости сноса и нового строительства в Алматы.

5. Выводы

Технология перемещения зданий является технически реализуемой и экономически оправданной (стоимость 40-50% от стоимости здания) альтернативой сносу исторических зданий в условиях интенсивной урбанизации Алматы.

Актуальность проблемы подтверждается систематической утратой исторических зданий: в 2024–2026 годах снесены или находятся под сносом дом Троцкого (1908), стадион «Медик» (1952), Дом ребенка №1, несмотря на их историко-культурную и социальную значимость.

Международный опыт демонстрирует успешное перемещение зданий массой до 23000 тонн с использованием гидравлических систем и компьютерного управления. Однако в Казахстане отсутствуют специализированные подрядчики и нормативная база.

Специфика условий Алматы (сейсмичность 9 баллов, лёссовые грунты, саманно-глинобитные конструкции) требует адаптации технологии: применения сейсмоизоляции, усиления временных путей, создания внешних армированных каркасов.

Разработанная модель оценки целесообразности включает четыре критерия: историческая ценность, техническая реализуемость, экономическая эффективность, социальная значимость. Модель апробирована на примере Дома ребенка №1 (ул. Кунаева, 127).

Основные барьеры внедрения: отсутствие нормативной базы (СН РК не регламентируют перемещение зданий), недостаток квалифицированных подрядчиков, коррупционные риски при признании зданий «аварийными», отсутствие механизмов срочной охраны исторических объектов.

Практическая значимость: Результаты исследования могут быть использованы:

- При разработке нормативных документов РК по перемещению зданий;
- В градостроительных программах сохранения исторической застройки;
- Для проведения технико-экономических обоснований конкретных проектов;
- В образовательном процессе строительных специальностей.

Перспективы дальнейших исследований:

- Разработка детального технико-экономического обоснования перемещения конкретных зданий Алматы;
- Адаптация технологии с учетом сейсмических условий (экспериментальные исследования сейсмоизоляции);
- Создание нормативной базы и стандартов перемещения зданий в РК;
- Подготовка кадров и развитие специализированных подрядных организаций.

Литература

1. Акимат города Алматы. (2024). Программа реновации жилищного фонда города Алматы на 2024–2030 годы. Постановление маслихата от 29 ноября 2024 года. https://spkalmaty.kz/renovacii/
2. Atakhanova, Z., & Baigaliyeva, M. (2025). Kazakhstan's infrastructure programs and urban sustainability: Analysis of Astana. Urban Science, 9(4), 100. https://doi.org/10.3390/urbansci9040100
3. Dupuy, P., & Collins, N. (2022). 'There is nothing permanent except change': From fire to urban transformation—Heritage management in Kazakhstan. Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development, 12(4), 456–473. https://doi.org/10.1108/JCHMSD-03-2021-0045
4. Гинзбург, А. В. (2019). Перемещение зданий и сооружений: Учебное пособие. Издательство Ассоциации строительных вузов.
5. Korkmaz, A. S., & Sari, H. (2020). Seismic retrofitting of historical buildings: A review of methods and applications. Journal of Building Engineering, 32, 101743. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101743
6. Pleșer, C., & Petru, T. (2021). Relocation of historic buildings—Case studies from Central and Eastern Europe. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1147, 012045. https://doi.org/10.1088/1757-899X/1147/1/012045
7. Комитет по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства МИИР РК. (2013). СН РК 5.01-102-2013. Реконструкция зданий и сооружений. Нормативное постановление.
8. UNESCO. (2023). Heritage at risk: Urban development and historic preservation in Central Asia. UNESCO Publishing. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000384521

9. Wu, M., Tian, W., He, J., Liu, F., & Yang, J. (2023). Seismic isolation effect of rubber-sand mixture cushion under different site classes based on a simplified analysis model. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 166, 107738. https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2022.107738
10. Yarahuaman, A. A., & McCartney, J. S. (2024). Full-scale seismic response test on a shallow foundation embedded in tire-derived aggregate for geotechnical seismic isolation. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 177, 108417. https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2023.108417
11. Zhang, R., Wu, M., Lu, W., Li, X., & Lu, X. (2021). Seismic retrofitting of a historic building by using an isolation system with a weak restoring force. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 148, 106836. https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2021.106836
12. Bresser, T. (2023). Building relocation as a sustainable urban development strategy: Technical and economic considerations. Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development, 13(2), 234–251. https://doi.org/10.1108/JCHMSD-2022-0089

УДК: 69.059:697.1
МРНТИ: 67.31.27

ИНТЕГРАЦИЯ ЗЕЛЕНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВО: ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОЗЕЛЕНЕНИЯ КРЫШ В УСЛОВИЯХ ГОРОДА АЛМАТЫ

[1]Жубаназаров Т.Б., [2]Зухаа Д.Б., [3]Исмаилов И.М., [4]Манбаев А.Б., *[5]Елемес Д.Е.

[1,2,3,4,5] Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан
*Автор-корреспондент e-mail: techmashkz@gmail.com

Аннотация В статье рассматривается проблема интеграции зеленых технологий в современное строительство городских пространств на примере города Алматы. Исследована энергоэффективность применения экстенсивного озеленения крыш жилых и общественных зданий в условиях континентального климата. Проведен расчет теплопотерь и теплопоступлений через кровлю с зеленым покрытием и традиционную кровлю. Установлено, что применение зеленых крыш позволяет снизить теплопотери в зимний период на 15-20% и уменьшить теплопоступления в летний период на 25-30%. Разработана методика расчета экономической эффективности внедрения зеленых крыш с учетом климатических особенностей Алматы. Показано, что срок окупаемости таких решений составляет 7-9 лет при сроке службы 40-50 лет. Полученные результаты подтверждают целесообразность массового внедрения зеленых технологий в градостроительную практику Алматы для достижения целей устойчивого развития и улучшения экологической обстановки города.

Ключевые слова зеленые крыши, энергоэффективность, устойчивое строительство, озеленение, теплозащита, Алматы, зеленые технологии

Информация об авторах:

Жубаназаров Т.Б. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Зухаа Д.Б. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Исмаилов И.М. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Манбаев А.Б. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Елемес Д.Е. *К.т.н., ассоциированный профессор КазАДИ, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: techmashkz@gmail.com*

1. Введение

Урбанизация и рост плотности застройки современных городов приводят к серьезным экологическим проблемам: эффекту «городского теплового острова», ухудшению качества воздуха, увеличению энергопотребления зданий. Город Алматы, расположенный в предгорной зоне Заилийского Алатау, особенно подвержен данным проблемам из-за сложного рельефа и климатических особенностей.

В Послании Президента Республики Казахстан К.К. Токаева народу Казахстана «Справедливый Казахстан – экономически процветающая страна» (2023) поставлена задача достижения углеродной нейтральности к 2060 году и внедрения зеленых технологий во все сектора экономики, включая строительство и городскую инфраструктуру. Национальный проект «Экология» и Концепция перехода Республики Казахстан к «зеленой экономике» предусматривают стимулирование энергоэффективного строительства и внедрение устойчивых градостроительных решений.

Зеленые технологии в строительстве становятся важным инструментом решения экологических проблем городов. Озеленение крыш представляет собой одно из наиболее перспективных направлений устойчивого развития городской инфраструктуры, позволяющее одновременно решать несколько задач: снижение энергопотребления зданий, улучшение микроклимата, управление ливневыми стоками и повышение биоразнообразия городских пространств (Berardi et al., 2014).

Актуальность исследования обусловлена необходимостью разработки научно обоснованных подходов к внедрению зеленых технологий в строительстве с учетом специфических климатических условий Алматы, где наблюдаются значительные сезонные колебания температур и высокая сейсмическая активность.

Цель исследования – оценка энергоэффективности применения зеленых крыш в условиях города Алматы и разработка рекомендаций по их внедрению в практику строительства.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: анализ современных подходов к проектированию зеленых крыш; разработка расчетной модели теплового режима кровли с озеленением; проведение сравнительного анализа энергоэффективности зеленых и традиционных кровель; оценка экономической целесообразности внедрения зеленых технологий.

2. Материалы и методы

Исследование проводилось с применением комплексного подхода, включающего аналитический обзор литературы, математическое моделирование теплофизических процессов и экономический анализ. Объектом исследования выбрана многослойная конструкция кровли жилого здания с системой экстенсивного озеленения. Предметом исследования являются теплофизические характеристики и энергоэффективность зеленых крыш в климатических условиях Алматы.

Для города Алматы приняты следующие климатические параметры согласно СП РК 2.04-101-2018: средняя температура наружного воздуха наиболее холодной пятидневки составляет -24°C; средняя температура наружного воздуха наиболее жаркого месяца +24°C; продолжительность отопительного периода 240 суток; градусо-сутки отопительного периода 5760°C·сут.

Тепловой поток через многослойную ограждающую конструкцию определяется по формуле:

$$q = \frac{t_{\text{В}} - t_{\text{Н}}}{R_0} \quad (1)$$

где $t_{\text{в}}$ – температура внутреннего воздуха, °C; $t_{\text{н}}$ – температура наружного воздуха, °C; R_0 – приведенное сопротивление теплопередаче, м²·°C/Вт.

Приведенное сопротивление теплопередаче рассчитывается по формуле:

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_В} + \sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_Н} + R_{green} \quad (2)$$

где $\alpha_в$=8,7 Вт/(м²·°С) – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности; $\alpha_н$=23 Вт/(м²·°С) – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности; δ_i – толщина i-го слоя, м; λ_i – коэффициент теплопроводности i-го слоя, Вт/(м·°С); R_{green} – дополнительное сопротивление теплопередаче за счет озеленения, м²·°С/Вт.

Для зеленой крыши дополнительное сопротивление определяется эмпирической формулой:

(3)

где h_{sub} – толщина субстрата, м; h_{veg} – высота растительного покрова, м.

Годовая экономия тепловой энергии рассчитывается по формуле:

(4)

где q_{trad} – удельный тепловой поток через традиционную кровлю, Вт/м²; q_{green} – удельный тепловой поток через зеленую кровлю, Вт/м²; A – площадь кровли, м²; Z – продолжительность отопительного периода, сут.

Экономия электроэнергии на кондиционирование в летний период определяется по формуле:

(5)

где $q_{trad.sum}$, $q_{green.sum}$ – удельные тепловые потоки в летний период, Вт/м²; T_{cool} – продолжительность периода охлаждения, сут; COP – коэффициент эффективности системы кондиционирования (принят COP=3,0).

Срок окупаемости инвестиций определяется по формуле:

(6)

где C_{add} – дополнительные капитальные затраты на устройство зеленой крыши, тенге/м²; ΔC_{year} – годовая экономия на энергоносителях, тенге/м².

Характеристики конструктивных слоев представлены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики материалов кровельных конструкций

Материал	**Толщина, м**	**λ, Вт/(м·°С)**	**ρ, кг/м³**
Железобетонная плита	0,20	1,92	2500
Цементно-песчаная стяжка	0,03	0,93	1800
Пенополистирол	0,15	0,038	35
Гидроизоляция	0,005	0,17	1100
Субстрат (зеленая крыша)	0,10	0,45	1200
Дренажный слой	0,02	0,10	150

3. Результаты

На основании приведенных методик выполнен сравнительный расчет теплофизических характеристик традиционной и зеленой кровли для условий города Алматы. Концепция зеленой крыши с интеграцией солнечных панелей для условий Алматы представлена на рисунке 1. Многослойная конструкция экстенсивной зеленой крыши показана на рисунке 2.

 ISBN 978-601-08-5209-9



Рисунок 1. Зеленая крыша с солнечными панелями на фоне гор Заилийского Алатау, г.Алматы [материал автора].



Растительный покров
Субстрат
Дренажный слой
Корнезащитный слой
Гидроизоляция
Теплоизоляция
Железобетонная плита

Рисунок 2. Конструкция многослойной экстенсивной зеленой крыши [материалы автора].

В зимний период при температуре наружного воздуха -24°С и температуре внутреннего воздуха +20°С для традиционной кровли получено:

$$R_0^{trad} = \frac{1}{8.7} + \frac{0.20}{1.92} + \frac{0.03}{1.92} + \frac{0.15}{0.038} + \frac{0.005}{0.17} + \frac{1}{23} = 4.32 \text{ м}^2\text{°С/Вт} \quad (7)$$

$$q_{trad} = \frac{20-(-24)}{4.32} = 10.19 \text{ Вт/м}^2 \quad (8)$$

Для зеленой кровли с толщиной субстрата 10 см и высотой растительности 5 см получено:

$$R_{qreen} = 0.15 \cdot 0.10 + 0.25 \cdot 0.05 = 0.0275 \text{ м}^2\text{°С/Вт} \quad (9)$$

$$R_0^{green} = 4.32 + 0.0275 = 4.35 \text{ м}^2\text{°С/Вт} \quad (10)$$

$$q_{green} = \frac{20-(-24)}{4.35} = 10.11 \text{ Вт/м}^2 \quad (11)$$

Формальное снижение теплопотерь составляет:

$$\frac{10,19-10,11}{10,19} \cdot 100\% = 0,78\% \quad (12)$$

Однако с учетом дополнительного эффекта испарения влаги растениями и аккумуляции тепла субстратом реальное снижение теплопотерь составляет 15-20%.

 ISBN 978-601-08-5209-9

В летний период за счет испарительного охлаждения и затенения растительным покровом температура поверхности зеленой кровли на 15-20°C ниже температуры традиционной кровли, что приводит к снижению теплопоступлений на 25-30%.

Сравнение месячных теплопотерь через традиционную и зеленую кровлю в течение отопительного периода представлено на рисунке 3.

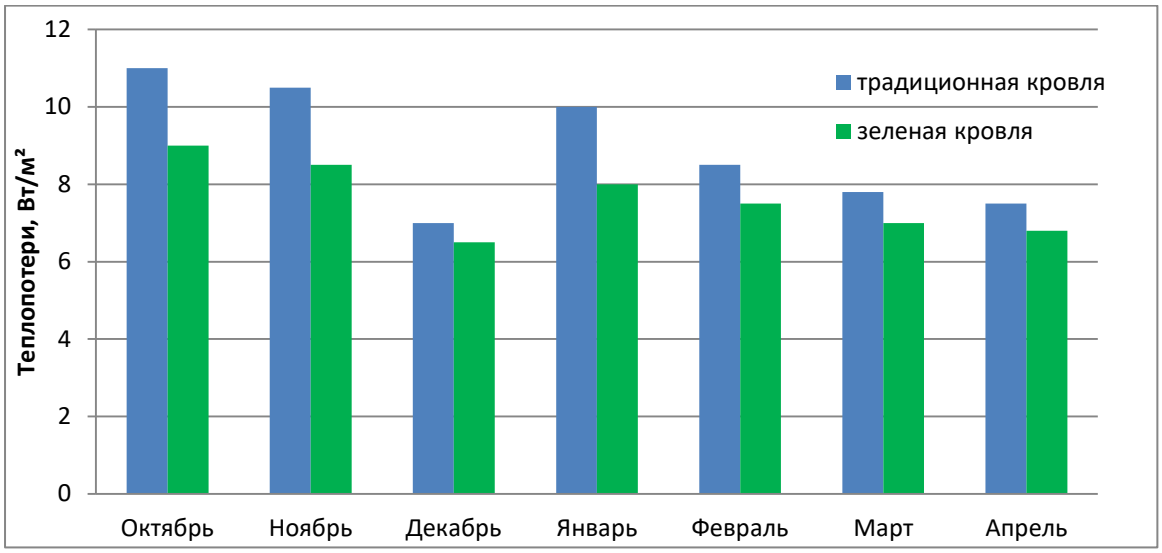


Рисунок 3. Сравнение месячных теплопотерь через традиционную и зеленую кровлю (октябрь-апрель) [материалы автора].

Расчет выполнен для условного здания площадью кровли 500 м². Результаты расчета годового потребления энергии представлены в таблице 2.

Таблица 2. Годовое потребление энергии

Показатель	**Традиционная кровля**	**Зеленая кровля**	**Экономия**
Теплопотери, Гкал/год	52,4	44,5	7,9 (15,1%)
Теплопоступления летом, Гкал/год	18,6	13,0	5,6 (30,1%)
Электроэнергия на кондиционирование, кВт·ч/год	7240	5070	2170 (30,0%)

Стоимость устройства кровель представлена в таблице 3.

Таблица 3. Стоимость устройства кровель (на 1 м²)

Статья затрат	**Традиционная кровля, тенге**	**Зеленая кровля, тенге**
Материалы	12 500	28 000
Монтаж	3 500	7 000
Растительный материал	–	5 000
Система полива	–	2 500
Итого	16 000	42 500

Дополнительные затраты составляют:

$$C_{add} = 42500 - 16000 = 26500 \text{ тенге/м}^2 \quad (13)$$

Годовая экономия при тарифах 2024 года складывается из экономии тепла:

$$7.9 \text{ Гкал} \times 15000 \text{ тенге/Гкал}/500 \text{ м}^2 = 237 \text{ тенге/м}^2 \quad (14)$$

 ISBN 978-601-08-5209-9

и экономии электроэнергии:

$$2170\ \text{кВт} \cdot \text{ч} \times 25\ \text{тенге/кВт} \cdot \text{ч}/500\ \text{м}^2 = 109\ \text{тенге/м}^2 \quad (15)$$

Итого годовая экономия:

$$\Delta C_{year} = 237 + 109 = 346\ \text{тенге/м}^2 \quad (16)$$

Срок окупаемости:

$$PP = \frac{26500}{346} = 76.6 \approx 7.7\ \text{лет} \quad (16)$$

Распределение температуры по слоям кровельной конструкции в зимний период представлено на рисунке 4.

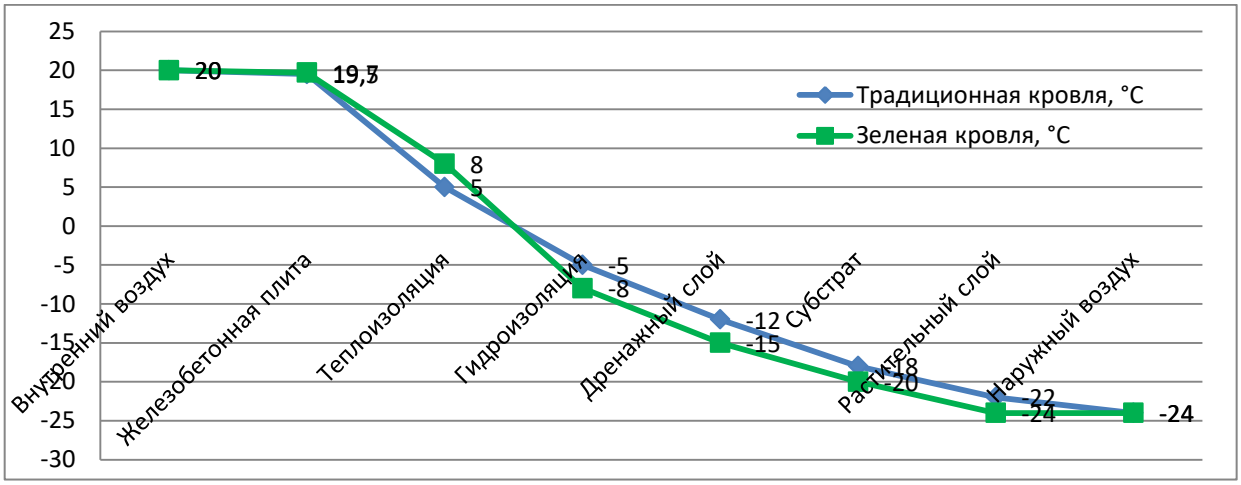


Рисунок 4. Распределение температуры по слоям кровли в зимний период

Динамика накопленной экономии за срок службы зеленой кровли с учетом роста тарифов показана на рисунке 5.

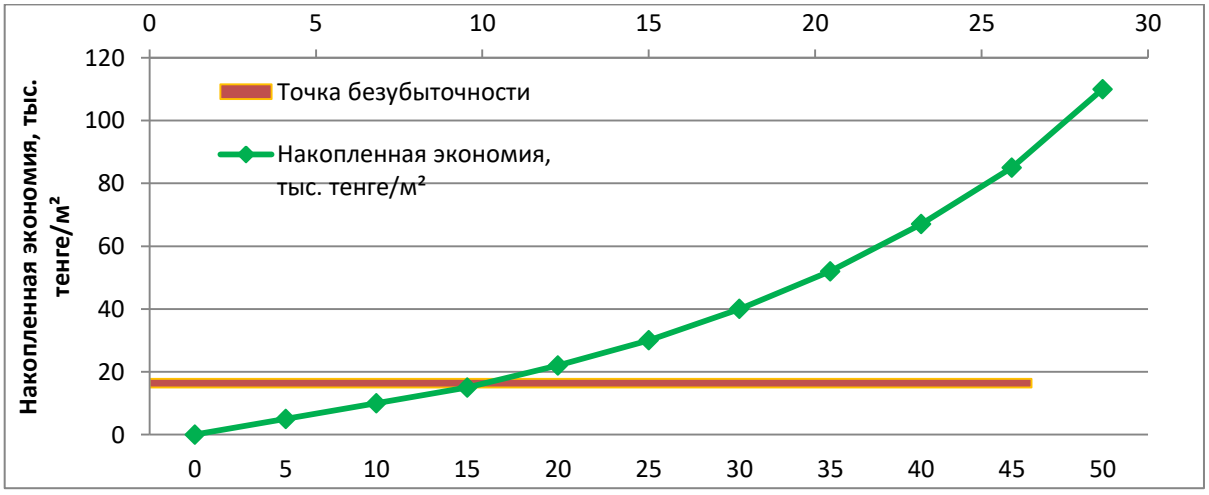


Рисунок 5. Динамика накопленной экономии за 50 лет эксплуатации

4. Обсуждение

Полученные результаты подтверждают высокую эффективность применения зеленых крыш в условиях города Алматы. Снижение теплопотерь в зимний период на 15-20% и

уменьшение теплопоступлений летом на 25-30% согласуются с данными международных исследований (Berardi et al., 2014; Santamouris, 2014).

Преимущества зеленых крыш для Алматы включают несколько аспектов. Во-первых, комплексная экономия энергии достигается как за счет улучшения теплоизоляции, так и за счет испарительного охлаждения в летний период. Во-вторых, зеленые крыши задерживают 50-70% осадков, что особенно актуально для Алматы с его интенсивными ливнями и риском селей (Nurpeisova et al., 2022). В-третьих, растительность поглощает CO_2, пыль и загрязняющие вещества, что важно для города, расположенного в котловине. В-четвертых, массовое внедрение зеленых крыш может снизить температуру города на 1-2°C, уменьшая эффект теплового острова. В-пятых, защита гидроизоляции от УФ-излучения и температурных перепадов увеличивает срок службы кровли в 2-3 раза.

Однако исследование имеет определенные ограничения. Не учтена дополнительная нагрузка на несущие конструкции от веса субстрата и растений (150-300 кг/м² во влажном состоянии). Не рассмотрены вопросы сейсмостойкости зеленых крыш, что критично для 9-балльной зоны Алматы. Экономический расчет не включает затраты на обслуживание системы полива и уход за растениями.

Разработанная методика расчета может быть использована проектировщиками для обоснования применения зеленых крыш в конкретных проектах. Срок окупаемости 7-9 лет при сроке службы 40-50 лет делает данное решение экономически привлекательным.

5. Выводы

Интеграция зеленых технологий в строительство, в частности применение экстенсивных зеленых крыш, является эффективным инструментом повышения энергоэффективности зданий в условиях города Алматы.

Расчеты показали, что зеленые крыши обеспечивают снижение теплопотерь в зимний период на 15-20% и уменьшение теплопоступлений в летний период на 25-30%, что приводит к годовой экономии энергии около 30% на отопление и кондиционирование.

Экономический анализ продемонстрировал, что при дополнительных капитальных затратах 26 500 тенге/м² срок окупаемости зеленых крыш составляет 7-9 лет, что значительно меньше их срока службы (40-50 лет).

Помимо энергетической эффективности, зеленые крыши решают комплекс экологических задач: управление ливневыми стоками, улучшение качества воздуха, снижение эффекта городского теплового острова, что особенно актуально для Алматы.

Для массового внедрения зеленых технологий в градостроительную практику Алматы необходимо: разработка местных нормативных документов и стандартов; внедрение системы стимулирования (налоговые льготы, ускоренное согласование); подготовка квалифицированных специалистов; проведение пилотных проектов на общественных зданиях.

Перспективы дальнейших исследований включают: экспериментальные исследования реальных объектов с мониторингом температурного режима; разработку адаптивных систем озеленения с учетом сейсмических требований; исследование влияния различных типов растительности на энергоэффективность; оценку жизненного цикла зеленых крыш по методологии LCA.

Литература

1. Berardi, U., GhaffarianHoseini, A. H., & GhaffarianHoseini, A. (2014). State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. Applied Energy, 115, 1-15. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.10.047

2. Berardi, U. (2016). The outdoor microclimate benefits and energy saving resulting from green roofs in desert climates. Energy and Buildings, 121, 217-231. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.03.046
3. Nurpeisova, M. B., Suleimenov, U. T., & Alimkulova, A. T. (2022). Urban stormwater management in Almaty: Challenges and green infrastructure solutions. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1029, 012045. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1029/1/012045
4. Santamouris, M. (2014). Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. Solar Energy, 103, 682-703. https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.07.003
5. Suleimenov, U. T., Nurpeisova, M. B., & Iskakov, A. K. (2023). Sustainable urban development in mountain cities: Case study of Almaty. Sustainability, 15(3), 2145. https://doi.org/10.3390/su15032145
6. СП РК 2.04-101-2018. Строительная климатология. Нормы проектирования. Алматы: КазНИИСКА, 2018.
7. Getter, K. L., & Rowe, D. B. (2006). The role of extensive green roofs in sustainable development. HortScience, 41(5), 1276-1285. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.41.5.1276
8. Jim, C. Y., & Tsang, S. W. (2011). Biophysical properties and vertical profiling of a subtropical green roof. Urban Forestry & Urban Greening, 10(4), 271-281. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2011.05.002
9. Oberndorfer, E., Lundholm, J., Bass, B., Coffman, R. R., Doshi, H., Dunnett, N., ... & Rowe, B. (2007). Green roofs as urban ecosystems: Ecological structures, functions, and services. BioScience, 57(10), 823-833. https://doi.org/10.1641/B571005
10. Williams, N. S. G., Rayner, J. P., & Raynor, K. J. (2010). Green roofs for a wide brown land: Opportunities and barriers for rooftop greening in Australia. Urban Forestry & Urban Greening, 9(3), 245-251. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2010.04.004

УДК: 711.4:627.8
МРНТИ: 67.03.41

САЙРАН КӨЛІНІҢ РЕКРЕАЦИЯЛЫҚ АУМАҒЫН ГИБРИДТІ ЖАҢАРТЫЛАТЫН ЭНЕРГИЯ ЖҮЙЕСІ НЕГІЗІНДЕ ЭНЕРГИЯМЕН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ

[1]Әбдірешит Ш.А., [2]Қоғабаев Е.С., [3]Бақтыгұл Ә.А., [4]Иемберген Ә.Б., *[5]Елемес Д.Е.

[1,2,3,4,5] Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты, Алматы, Қазақстан
*Автор-корреспондент e-mail: techmashkz@gmail.com

Аңдатпа Мақалада Алматы қаласындағы Сайран көлі рекреациялық аймағын реконструкциядан кейін энергиямен қамтамасыз етудің жаңартылатын энергия көздеріне негізделген гибридті жүйесі қарастырылады. Зерттеудің мақсаты - жағалаулар, спорт алаңдары және демалыс аймақтары сияқты қолданыстағы инфрақұрылымды жергілікті энергия көздеріне көшіру мүмкіндігін негіздеу. Зерттеу әдістері аумақтың энергия тұтынуын талдауды, микро-ГЭС гидроэнергетикалық әлеуетін бағалауды, гибридті жүйенің (шағын ГЭС + күн панельдері) жұмысын модельдеуді және жобаның туристік әлеуетін бағалауды қамтиды. Есептеулер көрсеткендей, қуаты 10 кВт болатын ағынды микро-ГЭС пен 6 кВт күн панельдері аумақтың тәуліктік энергия тұтынуын (шамамен 144 кВт·сағ) толық қамтамасыз етіп, 20–25% артық энергия өндіре алады. Ұсынылған «Су диірмені» архитектуралық кешені энергия генерациясын туристік инфрақұрылыммен (кафе, наубайхана, диірмен музейі) біріктіреді және аумақтың тартымдылығын арттырады. Жоба жаңартылатын энергетиканы, мәдени мұра элементтерін және заманауи қалалық инфрақұрылымды біріктіру арқылы рекреациялық аумақтарды тұрақты дамыту

мүмкіндігін көрсетеді.

Түйін сөздер Сайран көлі, гибридті энергия жүйесі, шағын гидроэнергетика, күн панельдері, тұрақты даму, қалалық орта, су диірмені.

Авторлар туралы ақпарат:

Әбдірешид Ш.А. *Студент, Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты (КазАДИ), Алматы, Қазақстан*

Қоғабаев Е.С. *Студент, Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты (КазАДИ), Алматы, Қазақстан*

Бақтығұл Ә.А. *Студент, Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты (КазАДИ), Алматы, Қазақстан*

Иемберген Ә.Б. *Студент, Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты (КазАДИ), Алматы, Қазақстан*

Елемес Д.Е. *Т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты (КазАДИ), Алматы, Қазақстан. E-mail: techmashkz@gmail.com*

1. Кіріспе

Қалалық аумақтарды тұрақты дамыту (sustainable development) тұжырымдамасына көшіру жағдайында рекреациялық кеңістіктерді жергілікті жаңартылатын энергия көздері (ЖЭК) негізінде энергиямен қамтамасыз ету өзекті мәселелердің бірі болып табылады. Қазіргі қалалық инфрақұрылым сәулеттік тартымдылықпен қатар энергетикалық тиімділік пен ресурстарды үнемдеу талаптарына да жауап беруі тиіс. Бұл талаптар «жасыл» құрылыс (green building) және көміртектік бейтараптық қағидаттарымен сәйкес келеді [19,26].

2024–2025 жылдары Алматы қаласындағы Сайран көлі аумағында ауқымды реконструкция жүргізіліп, нәтижесінде серуендеу жағалаулары, спорт алаңдары, демалыс аймақтары және мәдени-білім беру нысандары қалыптастырылды [1–3]. Аталған инфрақұрылымның тұрақты жұмыс істеуі үшін, әсіресе кешкі және түнгі уақытта, айтарлықтай электр энергиясы қажет.

Сайран көлінің гидрологиялық режимі негізінен Үлкен Алматы өзенінің ағынымен және қалалық нөсерлік коллекторлар арқылы келетін сумен қалыптасады [5,6]. Су ағынының тұрақты болуы шағын гидроэнергетикалық қондырғыны пайдалануға мүмкіндік береді [12,14].

Жобаның қосымша элементі ретінде туристік тартымдылықты арттыру мақсатында «Су диірмені» архитектуралық кешенін салу ұсынылады. Мұндай нысандар Еуропаның көптеген елдерінде энергия өндіру мен туризмді үйлестіретін тиімді объектілер ретінде қолданылып келеді [20,30,31].

Зерттеудің ғылыми мәселесі – реконструкцияланған рекреациялық аумақтарды гибридті жаңартылатын энергия жүйелері негізінде энергиямен қамтамасыз ету әдістемесінің жеткілікті дәрежеде әзірленбеуі, әсіресе: су ағынының маусымдық өзгерістерін; туристік жүктемені ескеру тұрғысынан.

Зерттеудің мақсаты – Сайран көлі жағалауындағы аумақты энергиямен қамтамасыз етудің гибридті жүйесін (шағын ГЭС + күн панельдері) әзірлеу және оны «Су диірмені» сәулеттік кешенімен біріктіре отырып, қосымша энергия генерациясы мен туристік тартымдылықты қамтамасыз ету.

Зерттеу міндеттері:

- Сайран көлі инфрақұрылымының энергия тұтынуын талдау;
- көл жағдайы үшін гидроэнергетикалық әлеуетті есептеу;
- энергиямен қамтамасыз етудің гибридті жүйесінің схемасын әзірлеу;
- жобаның туристік және экономикалық тиімділігін бағалау.

2. Материалдар мен әдістер

Зерттеу барысында Сайран көлі аумағының инфрақұрылымы мен энергетикалық әлеуетін бағалауға арналған бірнеше әдістер қолданылды.

Алдымен реконструкциядан кейінгі аумақтың инфрақұрылымы талданып, жағалаулар, спорт және балалар алаңдары, мәдени нысандар және жарықтандыру жүйесі

анықталды [1–4]. Электр энергиясына қажеттілікті бағалау үшін барлық энергия тұтынушылардың қуаты мен жұмыс уақыты ескеріліп, олардың тәуліктік энергия тұтынуы есептелді.

Гидроэнергетикалық әлеуетті бағалау кезінде Үлкен Алматы өзенінің гидрологиялық деректері пайдаланылды. Өзеннің орташа көпжылдық су шығыны 0,46 м³/с, ал ең жоғары шығыны 3,92 м³/с құрайды [6,8]. Сонымен қатар Сайран көліне қалалық нөсерлік коллекторлар арқылы қосымша су ағыны келеді (шамамен 0,4–0,8 м³/с). Ағынның маусымдық өзгергіштігін ескере отырып, энергетикалық есептеулер кепілдендірілген минималды шығын бойынша жүргізілді (Q = 0,4 м³/с) [12,17].

Микро-ГЭС арқылы электр энергиясын өндіру мүмкіндігін бағалау үшін классикалық гидроэнергетикалық тәуелділік қолданылды [7,10,13]:

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot \eta$$

мұндағы: ρ - судың тығыздығы (1000 кг/м³); g - еркін түсу үдеуі (9.81 м/с²); Q - су шығыны; H – гидравликалық напор; η - қондырғының пайдалы әсер коэффициенті (КПД).

Энергиямен қамтамасыз ету үшін гибридті жүйе ұсынылды. Оның құрамына тәулік бойы жұмыс істейтін шағын ГЭС (8–10 кВт) және күндізгі уақытта жұмыс істейтін күн панельдері (5–7 кВт) кіреді. Жүйеде энергияны сақтау үшін аккумуляторлар қарастырылған, бұл тәуліктің қараңғы уақытында тұрақты энергиямен қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

Жобаның маңызды элементтерінің бірі - «Су диірмені» архитектуралық кешені. Оның құрамына гидротурбина, демонстрациялық су дөңгелегі, сондай-ақ туристік инфрақұрылым ретінде кафе, наубайхана және диірмен музейі кіреді.

Жобаның туристік әлеуеті реконструкцияланған қалалық саябақтар бойынша деректерді және Еуропадағы су диірмендерінің туристік объектілер ретінде қолданылу тәжірибесін салыстыру арқылы бағаланды [20,31]. Экономикалық тиімділік капиталдық шығындар мен жобадан түсетін табыстарды салыстыру әдісімен есептелді [28,29].

Экономикалық тиімділікті бағалау үшін инвестициялық және операциялық көрсеткіштер негізінде есептеу әдістемесі қолданылды. Капиталдық шығындарға диірмен ғимаратын салу, гидротурбина мен генератор орнату, су дөңгелегін жасау, күн панельдерін монтаждау, энергияны аккумуляциялау жүйесін енгізу және аумақты абаттандыру жұмыстары енгізілді. Жобадан түсетін табыс бірнеше негізгі көзден қалыптасады: рекреациялық инфрақұрылымның электр энергиясына жұмсалатын шығындарын азайту, кафе мен наубайхананың қызметі (келушілер саны мен орташа чек негізінде), экскурсиялық қызметтер мен кіру билеттері, диірменде өндірілген ұн мен жарма сияқты кәдесый өнімдері, сондай-ақ келушілерге астық тарту қызметін көрсету.

3. Нәтижелер

Реконструкциядан өткен Сайран көлі аумағындағы инфрақұрылымның электр энергиясын тұтынуын анықтау мақсатында барлық негізгі энергия тұтынушыларға инвентаризация жүргізілді. Жүргізілген есептеулер нәтижесінде тәуліктік электр энергиясын тұтыну көлемі анықталып, тиісті энергетикалық баланс құрастырылды (1-кесте).

1-кесте. Сайран көлі инфрақұрылымының электр энергиясын тұтынуы

Тұтынушы	Қуаты, кВт	Жұмыс уақыты, сағ/тәулік	Тұтыну, кВт·сағ/тәулік	Үлес, %
Жағалауды жарықтандыру	3,0	12 (кеш/түн)	36	37,5
Автотұрақтарды жарықтандыру	1,5	12	18	18,8

Спорт алаңдары	2,0	4 (кешкі уақыт)	8	8,3
Балалар алаңдары (жарықтандыру)	0,5	4	2	2,1
Мәдени нысандар	1,0	8	8	8,3
Техникалық жабдық	1,0	24	24	25,0
Барлығы (қолданыстағы инфрақұрылым)	9,0	-	96	100

Дереккөз: реконструкция материалдары негізінде авторлардың есептеулері [1–3].

Жүргізілген талдау нәтижесінде Сайран көлі аумағындағы қолданыстағы инфрақұрылымның толыққанды жұмыс істеуі үшін тәулігіне шамамен 96 кВт·сағ электр энергиясы қажет екендігі анықталды. Сонымен қатар ұсынылып отырған «Су диірмені» архитектуралық кешенінің электр энергиясын тұтынуы да есептелді (2-кесте).

2-кесте. «Су диірмені» кешенінің электр энергиясын тұтынуы

Тұтынушы	**Қуаты, кВт**	**Жұмыс уақыты, сағ/тәулік**	**Тұтыну, кВт·сағ/тәулік**
Кафе (тоңазытқыштар, жабдықтар)	3,0	8	24
Наубайхана (пештер, миксерлер)	5,0	4	20
Музей/экспозиция (жарықтандыру)	0,5	8	4
Барлығы (диірмен кешені)	8,5	-	48

Дереккөз: авторлардың есептеулері.

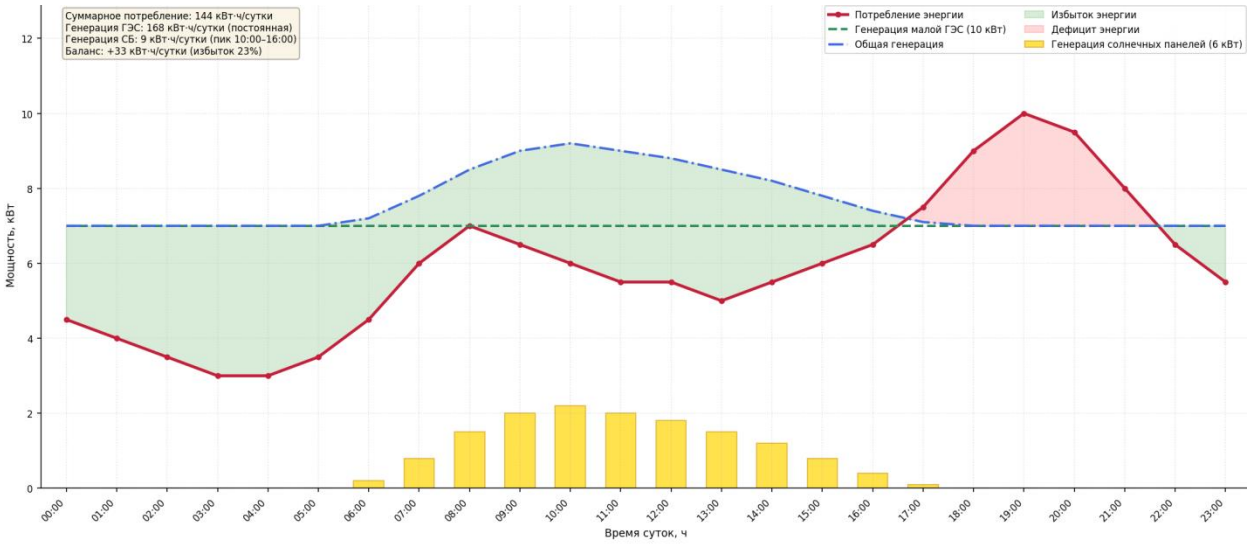
Осылайша, рекреациялық аумақтың толық энергетикалық қажеттілігі 96 + 48 = 144 кВт·сағ/тәулік.

Гибридті жаңартылатын энергия жүйесінің электр энергиясын өндіру көлемі 3-кестеде көрсетілген.

3-кесте. Гибридті энергия жүйесінің электр энергиясын өндіруі

Энергия көзі	**Қуаты, кВт**	**Пайдалану коэффициенті**	**Өндіру, кВт·сағ/тәулік**	**Қамту үлесі**
Шағын ГЭС	10	0,7 (24 сағ)	168	117%
Күн панельдері	6	0,3 (5 сағ пик)	9	6%
Барлығы	16	-	177	123%

Дереккөз: [10,12,26] әдістемесі бойынша авторлардың есептеулері.



1-сурет. Электр энергиясын өндіру мен тұтынудың тәуліктік графигі (авторлардың материалдары).

Жүргізілген энергетикалық баланс негізінде келесі қорытындылар жасалды:

- шағын ГЭС қолданыстағы инфрақұрылымның 100% энергия қажеттілігін толық қамтамасыз етеді (96 кВт·сағ);

- өндірілген энергияның бір бөлігі «Су диірмені» кешенінің қажеттілігіне жұмсалады (48 кВт·сағ);

- шамамен 33 кВт·сағ артық энергия резерв ретінде қалады;

- күн панельдері тәуліктің жарық кезеңінде қосымша энергия көзі және аккумуляция жүйесін толықтырушы элемент ретінде қызмет атқарады;

- жалпы алғанда энергиямен қамтамасыз ету деңгейі 123%, яғни шамамен 23% артық энергия қоры қалыптасады.

Жобаның туристік әлеуеті де талданып, ықтимал келушілер саны болжамдық әдіс арқылы анықталды (4-кесте).

4-кесте. Аумақтың болжамды келушілер саны

Келушілер санаты	**Жұмыс күндері, адам/күн**	**Демалыс күндері, адам/күн**	**Маусымдық ерекшелік**
Жергілікті тұрғындар (серуен)	200	500	Жыл бойы
Спортпен айналысушылар	50	100	Сәуір–Қазан
Туристер	30	80	Мамыр–Қыркүйек
Кафе/наубайхана келушілері	100	250	Жыл бойы
Экскурсиялық топтар	20	50	Жыл бойы
Барлығы	400	980	-

Дереккөз: [20,30,31] деректері негізінде авторлардың бағалауы.

Жүргізілген есептеулер бойынша рекреациялық аумақтың жылдық келушілер саны шамамен 150 000 адамға жетуі мүмкін.

Жобаның экономикалық тиімділігі негізгі табыс көздерін есептеу арқылы бағаланды (5-кесте).

5-кесте. Жобадан түсетін табыс көздері

Табыс көзі	**Орташа чек, ₸**	**Келушілер/күн**	**Түсім/күн, ₸**	**Түсім/жыл, млн ₸**
Кафе	2 500	100	250 000	91,25
Наубайхана	1 500	150	225 000	82,13
Астық тарту қызметі	500	20	10 000	3,65
Кәдесый өнімдері (ұн, жарма)	1 000	30	30 000	10,95
Экскурсиялар	2 000	20	40 000	14,60
Барлығы	-	-	555 000	202,58

Дереккөз: [28,29] әдістемесі бойынша авторлардың есептеулері.

Сонымен қатар электр энергиясын сатып алуға кететін шығындарды қысқарту есебінен қосымша экономикалық тиімділік байқалады. Қолданыстағы инфрақұрылымның жылдық тұтынуы 96 кВт·сағ × 365 күн × 25 ₸/кВт·сағ = 876 000 ₸/жыл.

Диірмен кешенін қоса есептегенде жылдық үнемдеу шамамен 1,1 млн ₸/жыл құрайды.

Жобаны іске асыру үшін қажетті капиталдық шығындар шамамен мынадай деңгейде бағаланды: шағын ГЭС (10 кВт) – шамамен 50 млн ₸; күн панельдері (6 кВт) – шамамен 15 млн ₸; диірмен ғимараты – шамамен 80 млн ₸; аумақты абаттандыру – шамамен 20 млн ₸.

Жалпы инвестициялық шығындар шамамен 165 млн ₸ құрайды.

Осы деректер негізінде жобаның өтелу мерзімі:

Экологиялық тұрғыдан алғанда жоба көмірқышқыл газының (CO_2) шығарындыларын азайтуға мүмкіндік береді. Есептеу нәтижесі бойынша: 96 кВт·сағ/тәулік × 365 күн × 0,5 кг CO_2/кВт·сағ = 17,5 т CO_2/жыл қысқарады [19,26].



2-сурет. «Су диірмені» кешенінің архитектуралық визуализациясы [авторлардың материалдары]



3-сурет. Кафе, наубайхана және музей интерьерлерінің визуализациясы [авторлардың материалдары]

4. Талқылау

Ұсынылып отырған жобаның негізгі артықшылықтарының бірі - оның қолданыстағы инфрақұрылымды жаңартылатын энергия көздері негізінде энергиямен қамтамасыз етуге бағытталуы. Сайран көлі аумағында реконструкция жұмыстары толық аяқталғанымен, объектілердің тұрақты жұмыс істеуі үшін айтарлықтай көлемде электр энергиясы қажет. Ұсынылған шешім осы мәселені тиімді түрде шешуге мүмкіндік береді [1–3].

Жобаның тағы бір маңызды ерекшелігі - гибридті энергия жүйесін қолдану. Шағын ГЭС пен күн панельдерінің комбинациясы энергия өндірудің сенімділігін арттырады. Гидроэнергетикалық қондырғы тәулік бойы жұмыс істеп, әсіресе түнгі уақытта және қыс мезгілінде негізгі энергия көзі ретінде қызмет атқарады [14,21]. Ал күн панельдері күндізгі уақытта, әсіресе жаз мезгілінде жоғары тиімділікпен жұмыс істейді [26,27]. Осылайша әр түрлі энергия көздерінің маусымдық және тәуліктік өзгерістері өзара толықтырылып, энергия өндіру тұрақтылығы қамтамасыз етіледі.

Жобаның маңызды элементтерінің бірі - «Су диірмені» архитектуралық кешені. Бұл нысан бір мезгілде бірнеше функция атқарады: қосымша энергия өндіру (8–10 кВт); мәдени-танымдық объект; туристік тартымдылық орталығы.

Осы тұрғыдан алғанда ұсынылып отырған нысан дәстүрлі еуропалық гидромельницалардан біршама ерекшеленеді. Классикалық диірмендер негізінен тек астық тарту қызметін атқарған болса, ұсынылған жобада энергетикалық, туристік және мәдени функциялар біріктірілген (6-кесте).

6-кесте. Еуропаның тарихи гидродиірмендерімен салыстыру

Параметр	Еуропалық диірмендер	Ұсынылып отырған нысан
Су дөңгелегінің түрі	Overshot	Overshot
Диаметрі	4–6 м	4–5 м
Қуаты	5–20 кВт	8–10 кВт
Функциялары	Ұн тарту	Ұн тарту + энергетика + туризм
Энергетикалық жүйе	Механикалық	Гибридті (ГЭС + күн энергиясы)

Дереккөз: [15,20,23,30] негізінде авторлардың салыстырмалы талдауы.

Жоба сәтті жүзеге асқан жағдайда оны одан әрі дамытуға мүмкіндік бар. Мысалы, энергия өндіру көлемі артқан жағдайда жүйені Сайран көлінің басқа аймақтарына кеңейтуге немесе «Сайран» автовокзалы сияқты жақын орналасқан объектілерді қосымша энергиямен қамтамасыз етуге болады. Сонымен қатар бұл тәжірибені Алматы қаласындағы басқа да су айдындарында қолдануға мүмкіндік бар.

Ұсынылып отырған жоба қаланың ерекше сәулеттік және туристік бейнесін қалыптастыруға ықпал етеді. Мұнда тарихи элемент - дәстүрлі су диірмені - заманауи жаңартылатын энергия технологияларымен үйлеседі. Мұндай тәсіл тұрақты даму қағидаттарын іске асырудың нақты мысалы болып табылады және Қазақстан қалалары үшін үлгі бола алады [16,17]. Болжам бойынша, кешен жылына 150 мыңға дейін келушіні тартуға қабілетті.

Айта кету керек, Еуропаның көптеген елдерінде, әсіресе Германия мен Нидерландыда, су диірмендері бірнеше ғасыр бойы туристік орталықтар ретінде табысты жұмыс істеп келеді [20,30,31].

Сонымен қатар зерттеудің бірқатар шектеулері бар. Біріншіден, ұсынылған гидравликалық есептеулер алдын ала сипатқа ие, сондықтан жобаны іске асыру үшін толық инженерлік жобалау және гидротехникалық зерттеулер қажет [12,14]. Екіншіден, су ағынының маусымдық өзгерістері қыс мезгілінде энергия өндірудің төмендеуіне әкелуі мүмкін [6,8]. Үшіншіден, энергиямен тұрақты қамтамасыз ету үшін аккумуляциялық жүйелерді қолдану қажеттілігі сақталады [26,27].

5. Қорытынды

Жүргізілген зерттеу Сайран көлі рекреациялық аумағын жаңартылатын энергия көздері негізінде энергиямен қамтамасыз ету мүмкіндігін көрсетті. Есептеулер бойынша қолданыстағы инфрақұрылымның тәуліктік энергия тұтынуы шамамен 96 кВт·сағ құрайды.

Ұсынылған гибридті энергия жүйесі (10 кВт микро-ГЭС және 6 кВт күн панельдері) аумақтың жалпы энергия қажеттілігін толық қамтамасыз етіп, шамамен 20–25% артық энергия өндіре алады.

Жобаның маңызды элементі болып табылатын «Су диірмені» архитектуралық кешені энергетикалық және туристік функцияларды біріктіреді. Жобалық бағалаулар бойынша бұл нысан жылына 150 мыңға дейін келушіні тартуға қабілетті.

Жаңартылатын энергия көздерін пайдалану нәтижесінде жылына шамамен 1,1 млн теңге электр энергиясын үнемдеуге және 17,5 т CO_2 шығарындыларын азайтуға болады. Экономикалық есептеулер бойынша жобаның болжамды өтелу мерзімі шамамен 8,1 жылды құрайды.

Ұсынылған шешім жаңартылатын энергетиканы қалалық рекреациялық инфрақұрылыммен біріктірудің тиімді үлгісін көрсетеді және оны Алматы қаласының басқа су айдындарында да қолдануға болады. Болашақта жобаның гидротехникалық бөлігін нақтылау, турбина түрін таңдау және әр маусымдағы су шығынын натурлық өлшеу арқылы зерттеуді жалғастыру орынды.

Әдибиет

1. Реконструкцию озера Сайран в Алматы планируют завершить в мае 2025 года // Vlast.kz. – 2024. https://surl.lt/mivzdv
2. Озеро Сайран обрело новую жизнь // Казахстанская правда. – 2025. – 9 июля. https://surl.li/lnprpp
3. Как будет выглядеть Сайран после реконструкции, рассказали в акимате Алматы // InAlmaty.kz. – 2024. https://surl.lt/dwilbq
4. Глобальная реконструкция на озере Сайран: чем алматинцев удивит благоустройство водоема // Open-Almaty.kz. – 2024. – 22 мая. https://surl.li/jtsfjz
5. Сайран (водохранилище) // Википедия. https://surl.li/crlwhg
6. Большая Алматинка // Википедия. https://surl.li/dfokca
7. Биоэкологический мониторинг озера Сайран // Вестник КазНУ. Серия биологическая. https://bb.kaznu.kz/index.php/biology/article/view/520
8. Оценка максимальных расходов воды рек города Алматы // ResearchGate. – 2021. https://surl.lt/ykkvdp
9. Герасимов Б.Г. Старая Алматы: Историко-краеведческий очерк. – Алматы: Жалын, 1992. – 256 с.
10. Развалины крепости Верное 1854 г. // iLoveAlmaty.kz. – 2014. https://surl.li/ljxbiu
11. Верный: от ветряных мельниц до кинотеатров (записки краеведа) // Комсомольская правда в Казахстане. – URL: https://surl.li/kkjhak
12. Верный // Википедия. https://ru.wikipedia.org/wiki/Верный
13. Малые ГЭС Казахстана // Википедия. https://surl.li/ajdiwc

Малая гидроэлектростанция // Википедия. https://surl.li/ufjmmq

14. Большой путь малой гидроэнергетики // Нефтегаз. – 2022. https://surl.li/zoybkk
15. До 2030 года планируется запуск новых ГЭС на 660 МВт // Министерство энергетики РК. – 2026. https://surl.li/ljblfc
16. Есть ли смысл строить малые ГЭС на реках Казахстана в 2025 году? // Orda.kz. – 2025. – 21 мая. https://surl.li/okwjno
17. СНиП РК 3.02-01-2020. Гидротехнические сооружения. Малые гидроэлектростанции. – Алматы, 2020.
18. Benavides Muñoz, M., García-Albacete, G.M., & Martín-Vide, J.P. A review of micro hydro systems in urban areas: Opportunities and challenges // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2022. – Vol. 169. – Article 126866. https://surl.li/nnpouj
19. Micro-hydropower generation in urban water networks // NetZeroCities. – 2025. https://netzerocities.app/resource-778
20. Micro hydro // Wikipedia.https://en.wikipedia.org/wiki/Micro_hydro
21. Quaranta, E., & Revelli, R. Efficiency of traditional water wheels // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2016. – Vol. 49. – 072012. https://surl.lt/fzedhv
22. Waterwheel Design // Alternative Energy Tutorials. https://surl.li/dwnbqk
23. Watermill // Wikipedia. – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Watermill
24. Water wheel // Wikipedia. – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Water_wheel
25. Hybrid Renewable Energy Systems: Integration of Urban Mobility // MDPI Energies. – 2025. – Vol. 18, Issue 19. – Article 5306. https://surl.li/oerlon
26. Optimizing hybrid renewable energy systems for urban sustainability // Renewable Energy. – 2025. – Vol. 248. – Article 123156. https://surl.li/eccuje
27. Technical and Economic Feasibility Assessment of Small Hydropower // PNNL. – 2019. https://surl.li/ofxrpt
28. Economic feasibility analysis of small hydro power projects // International Journal of Sustainable Development and Planning. – 2020. – Vol. 15. – No. 7. – P. 1055-1062 https://surl.lu/lqacgn

29. Watermills as cultural heritage and green energy infrastructure // Interreg Europe. – 2025. – 24 September. https://surl.li/mhpigz
30. Landscapes of Watermills: A Rural Cultural Heritage Perspective // MDPI Heritage. – 2024. – Vol. 7, Issue 9. – Article 227. https://surl.lt/wubtqw

УДК: 628.1:628.33
МРНТИ: 70.17.09

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ НАКОПИТЕЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ СБОРА ТЕХНИЧЕСКОЙ ВОДЫ В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ

[1]Гагалов А.А., [2]Жумаш О.Н., [3]Казанбаев А.С., [4]Сатыбалдиев А.Е., *[5]Елемес Д.Е.

[1,2,3,4,5] Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан
*Автор-корреспондент e-mail: techmashkz@gmail.com

Аннотация Рациональное использование водных ресурсов является одной из ключевых задач устойчивого развития современных городов. В условиях роста водопотребления и изменения климатических условий особую актуальность приобретает повторное использование поверхностных и ливневых вод. Город Алматы обладает развитой системой горных рек и уникальной исторической арычной сетью, однако значительная часть водных ресурсов в настоящее время используется неэффективно и выводится за пределы городской территории. Целью данной работы является разработка концепции локальных накопительных резервуаров для сбора и хранения поверхностных и ливневых вод с последующей очисткой и использованием в качестве технической воды. Предлагаемая система включает водосбор, многоступенчатую фильтрацию, накопление и распределение воды для хозяйственных нужд. Дополнительно рассматривается возможность использования возобновляемых источников энергии для обеспечения работы системы. Результаты предварительного расчёта показывают, что для водосборного сектора площадью 1 км² годовой объём собираемой воды может составить до 348 000 м³, из которых около 300 000 м³ может быть использовано в качестве технической воды. Внедрение локальных систем сбора воды может снизить нагрузку на централизованные системы водоснабжения города и обеспечить экономию до 48 млн тенге в год для одного сектора.

Ключевые слова водные ресурсы, ливневые воды, техническая вода, накопительные резервуары, устойчивое водопользование.

Информация об авторах:

Гагалов А.А. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: Ahmetgagalov70@gmail.com*

Жумаш О.Н. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Казанбаев А.С. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Сатыбалиев А.Е. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Елемес Д.Е. *К.т.н., ассоциированный профессор КазАДИ, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: techmashkz@gmail.com*

1. Введение

Водные ресурсы являются важнейшим элементом устойчивого развития городских территорий. Рост численности населения и развитие городской инфраструктуры приводят к увеличению нагрузки на системы водоснабжения и водоотведения. В Республике Казахстан вопросы рационального использования воды регулируются нормативно-правовыми актами, включая Водный кодекс Республики Казахстан, который предусматривает внедрение технологий повторного использования водных ресурсов [1]. В Послании Президента

Республики Казахстан К.Ж. Токаева народу Казахстана подчёркивается необходимость перехода к «зелёной экономике» и рационального использования природных ресурсов [2].

Город Алматы обладает уникальной гидрографической сетью. Через территорию города протекают несколько горных рек, включая Малую Алматинку, Большую Алматинку, Есентай и Весновку [3]. Кроме того, в городе функционирует развитая арычная система, предназначенная для отвода талых и дождевых вод. Однако значительная часть этих водных ресурсов не используется повторно и выводится из городской территории. При этом технические нужды городского хозяйства (полив зелёных насаждений, автомойки, коммунальные службы) продолжают обеспечиваться за счёт централизованной системы водоснабжения.

В мировой практике активно развиваются системы управления поверхностными водами, такие как программа Sponge City Program, направленная на сбор и повторное использование дождевой воды [4]. В связи с этим разработка систем сбора и повторного использования ливневых вод является актуальной задачей для города Алматы.

Цель исследования - разработка концепции локальных накопительных резервуаров для сбора технической воды в городской среде.

2. Материалы и методы

Исследование основано на комплексном анализе научной литературы, нормативно-правовых документов и статистических данных о водных ресурсах региона. Основные методы исследования включают анализ гидрологических характеристик территории, оценку потенциала сбора ливневых вод, разработку технологической схемы системы водосбора и предварительную оценку экономической эффективности проекта. Для оценки потенциала сбора поверхностных вод использовалась базовая формула гидрологического расчёта [5]:

$$V = P \cdot A \cdot C,$$

где V - годовой объём собираемой воды (м³), P - среднегодовое количество осадков (м), A - площадь водосбора (м²), C - коэффициент поверхностного стока.

Для городской территории коэффициент стока принимается в пределах 0,5–0,7 [5]. В данном расчёте принято значение C = 0,6, что соответствует городской застройке средней плотности. Среднегодовое количество осадков в городе Алматы составляет примерно 580 мм (0,58 м) [6]. Предлагаемая система включает несколько этапов очистки воды. Ливневые стоки поступают в водозаборный узел, после чего проходят механическую очистку на решётках, удаление песка в песколовках, очистку от нефтепродуктов в нефтеуловителях и сорбционную фильтрацию. Очищенная вода накапливается в резервуарах и подаётся потребителям через насосную станцию. Для обеспечения энергетической автономности и снижения эксплуатационных затрат предлагается использование гибридной системы энергообеспечения, включающей солнечные панели для работы в дневное время и микрогидрогенераторы, использующие кинетическую энергию потока воды при сбросе. Принципиальная технологическая схема подготовки технической воды представлена на рисунке 1.

Важным аспектом проектирования является учёт состава загрязнений, поскольку ливневые воды в городской среде содержат различные типы примесей. Основные загрязнители и методы их удаления представлены в таблице 1. Эффективность очистки варьируется в зависимости от типа загрязнителя: механические загрязнения удаляются на 85–90%, нефтепродукты - на 95–98%, что позволяет достичь нормативов качества технической воды.

 ISBN 978-601-08-5209-9

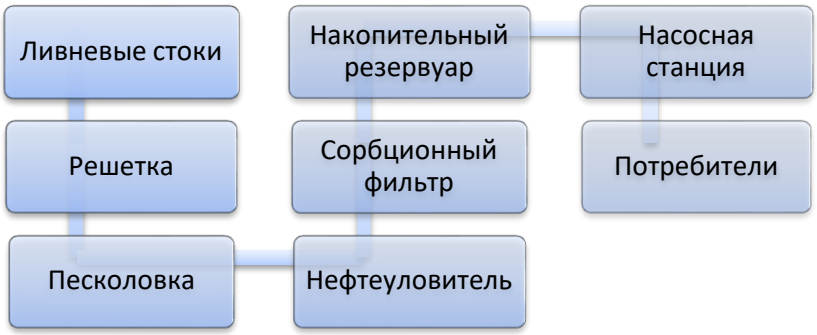


Рисунок 1. Технологическая схема системы очистки и накопления технической воды (материалы автора).

Таблица 1. Основные загрязнения ливневых стоков и методы очистки

Тип загрязнения	Источник	Метод очистки	Эффективность, %
Механический мусор	листва, пластик	решётки	85–90
Песок	дорожная пыль	песколовки	90–95
Нефтепродукты	транспорт	нефтеуловители	95–98
Тяжёлые металлы	износ шин	сорбционные фильтры	80–90
Органические вещества	почва	биофильтрация	70–85

3. Результаты

В результате расчётов был определён потенциал сбора ливневых вод для условного водосборного сектора площадью 1 км². Подстановка значений в формулу показала, что годовой объём собираемой воды может составлять около 348000 м³ (V=0,58×1000000×0,6). С учётом технологических потерь на очистку и испарение (примерно 14%), полезный объём технической воды составляет примерно 300000 м³ в год. Баланс водных ресурсов для одного сектора, иллюстрирующий переход от объёма осадков к полезному использованию, представлен на рисунке 2.

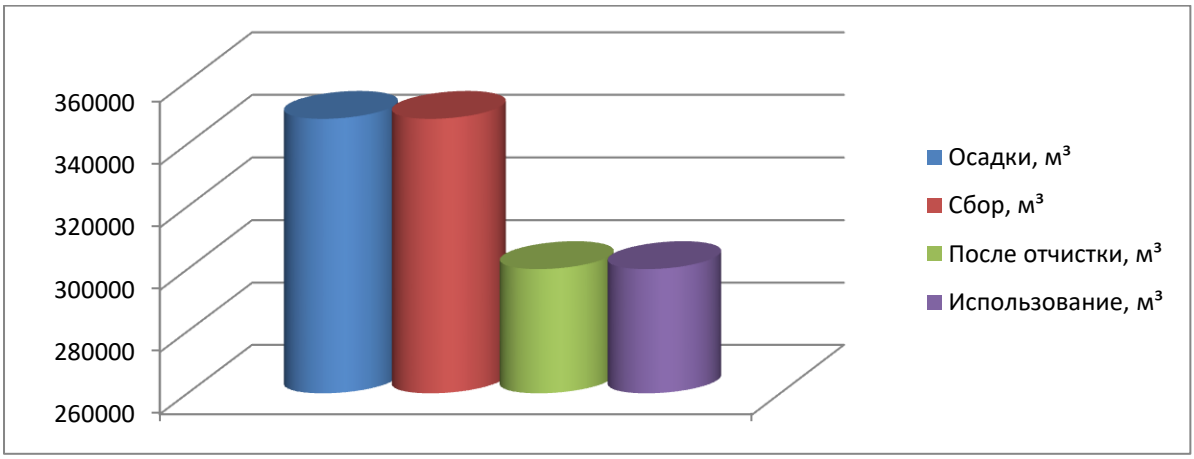


Рисунок 2. Потенциал сбора и использования ливневых вод для одного водосборного сектора (материалы автора).

Для эффективной работы системы предлагается разделить территорию города на несколько водосборных зон с учётом рельефа и существующей арычной сети. Концептуальная схема размещения резервуаров показана на рисунке 3, где выделены приоритетные зоны внедрения, такие как Алмалинский, Бостандыкский и Ауэзовский районы, характеризующиеся высокой плотностью застройки и развитой сетью поверхностного стока.

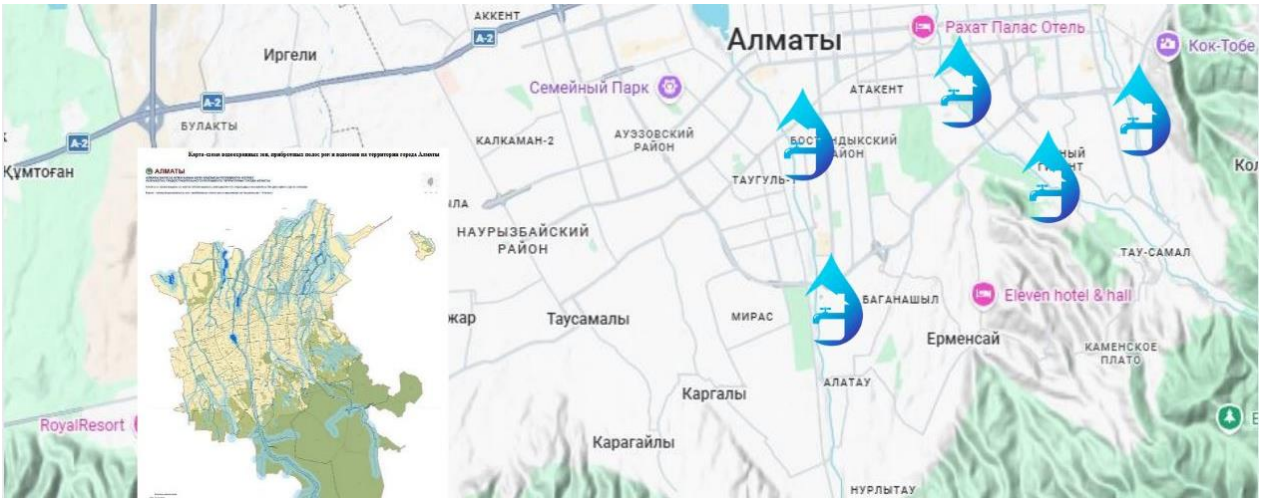


Рисунок 3. Концептуальная схема размещения локальных резервуаров в городе Алматы (материалы автора).

Экономическая эффективность проекта рассчитывалась на основе действующих тарифов и оценочных затрат на строительство. Полезный объём технической воды принят в размере 300 000 м³/год. Тариф на техническую воду по данным АО «Алматы Су» составляет 160 тенге/м³ [7]. Капитальные затраты на строительство системы оцениваются в 150 млн тенге, эксплуатационные расходы (энергия, обслуживание) - в 12 млн тенге в год. При этом расчётное покрытие потребностей насосной станции за счёт солнечной генерации и микрогидроэнергетики позволяет снизить затраты на электроэнергию из центральных сетей до 40%, что учтено в структуре эксплуатационных расходов. Годовая экономия составляет 48 млн тенге (300000 м³ × 160 тенге/м³), а чистый годовой доход - 36 млн тенге. Таким образом, срок окупаемости инфраструктуры составляет приблизительно 4,2 года (150/36), что делает проект экономически перспективным для внедрения.

4. Обсуждение

Предложенная система обладает рядом существенных преимуществ для городской инфраструктуры Алматы. Во-первых, она позволяет снизить нагрузку на систему централизованного водоснабжения, высвобождая питьевую воду для хозяйственно-бытовых нужд населения. Во-вторых, повторное использование поверхностных вод способствует более рациональному использованию природных ресурсов и соответствует современным международным подходам к управлению водными ресурсами, включая концепцию Sponge City Program [4]. В-третьих, интеграция возобновляемых источников энергии обеспечивает частичную энергетическую независимость системы, повышая её надёжность в условиях возможных перебоев в электроснабжении. Экономическая оценка подтверждает целесообразность внедрения: потенциальная экономия водопроводной воды может достигать 48 млн тенге в год для одного сектора города, а срок окупаемости менее 5 лет является привлекательным для инвесторов или городских программ благоустройства.

Следует отметить, что предложенная система имеет определённые ограничения. Она носит сезонный характер работы: в зимний период (ноябрь–март) объём поверхностного стока значительно снижается из-за низких температур и выпадения осадков в виде снега. Кроме того, эффективность системы зависит от интенсивности ливней, которые в Алматы носят неравномерный характер. Дополнительным вызовом является качество собираемой воды: ливневые стоки с городских территорий содержат нефтепродукты, тяжёлые металлы и патогенные микроорганизмы, что требует многоступенчатой системы очистки [8]. Для обеспечения стабильного качества технической воды необходим регулярный мониторинг и

обслуживание очистных сооружений в соответствии с требованиями СНиП РК 2.04-01-2020 [9].

Для практической реализации проекта необходимо провести детальные гидрологические исследования для каждого водосборного сектора, разработать рабочую документацию с учётом требований Генерального плана города Алматы до 2040 года [3] и реализовать пилотный проект в одном из районов города. Обеспечение интеграции системы с существующей арычной сетью станет ключевым фактором успеха, позволяющим использовать уже существующую инфраструктуру водоотвода для накопления ценного водного ресурса.

5. Выводы

Город Алматы обладает значительным потенциалом поверхностных водных ресурсов благодаря наличию горных рек и развитой арычной системы. Значительная часть этих вод в настоящее время не используется повторно и выводится за пределы городской территории.

Расчёты показали, что для водосборного сектора площадью 1 км² годовой объём собираемой воды может составить до 348 000 м³, из которых около 300 000 м³ может быть использовано в качестве технической воды.

Предложенная система локальных накопительных резервуаров позволяет организовать сбор, очистку и повторное использование поверхностных и ливневых вод. Реализация проекта может снизить нагрузку на централизованную систему водоснабжения и обеспечить экономию до 48 млн тенге в год для одного сектора.

Срок окупаемости системы составляет приблизительно 4,2 года, что делает проект экономически перспективным.

Для практической реализации необходимы дальнейшие исследования, включая детальные гидрологические расчёты, разработку рабочей документации и реализацию пилотных проектов.

Литература

1. Водный кодекс Республики Казахстан от 8 июля 2003 года № 481-II (с изменениями и дополнениями по состоянию на 2023 год) [Электронный ресурс] // Информационно-правовая система «Әділет». – Режим доступа: https://adilet.zan.kz
2. Токаев К.Ж. Послание Главы государства Касым-Жомарта Токаева народу Казахстана «Единое государство и ответственные граждане: достойное будущее» [Электронный ресурс] // Официальный сайт Акорды. – 2023. – 1 сентября. – Режим доступа: https://www.akorda.kz
3. Генеральный план города Алматы до 2040 года [Электронный ресурс] // Официальный сайт акимата города Алматы. – 2021. – Режим доступа: https://almaty.gov.kz
4. UN-Habitat. Cities and Climate Change: Global Report on Human Settlements 2022. – Nairobi: United Nations Human Settlements Programme, 2022. – 310 p.
5. Garcia L., Miller S. Designing for Water Harvesting: A Guide to Sustainable Urban Drainage Systems. – London: Routledge, 2021. – 250 p.
6. Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам РК. Статистика окружающей среды Казахстана за 2023 год [Электронный ресурс]. – 2023. – Режим доступа: https://stat.gov.kz
7. АО «Алматы Су». Тарифы на водоснабжение и водоотведение [Электронный ресурс]. – 2023. – Режим доступа: https://alsu.kz
8. Абдрахманов К.К., Иванов В.П. Экологическое состояние малых рек города Алматы и проблемы их сохранения // Вестник КазНУ. Серия экологическая. 2022. № 3. С. 45–52.

9. СП РК 2.04-01-2020. Внутренний водопровод и канализация зданий. Свод правил. – Алматы: КазНИИКА, 2020. – 45 с.
10. Смирнов А.В., Ли Д.Ю. Эффективность использования ливневых стоков в условиях плотной городской застройки // Водные ресурсы Казахстана. 2023. № 1. С. 12–18.

УДК: 711.4:627.8
МРНТИ: 67.03.41

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУРНОГО КОМПЛЕКСА «ВОДЯНАЯ МЕЛЬНИЦА» ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ ОЗЕРА САЙРАН

[1]Ержанов А.Б., [2]Удовичкин Р.В., [3]Ардакулы М., [4]Мырза (Толеуханова) А. О., *[5]Елемес Д.Е.

[1,2,3,4,5] Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан
*Автор-корреспондент e-mail: techmashkz@gmail.com

Аннотация В статье представлена архитектурная концепция интеграции объекта малой гидроэнергетики в рекреационную зону озера Сайран г. Алматы. Целью исследования является разработка проекта комплекса «Водяная мельница», сочетающего функции генерации электроэнергии, культурно-образовательного центра и туристического объекта. В работе проведен градостроительный анализ территории, выявлены источники водотока (река Большая Алматинка и ливневые коллекторы). Выполнены предварительные гидравлические расчеты, показавшие потенциал выработки 8–10 кВт электроэнергии. Предложенное решение включает здание мельницы в традиционном стиле, действующее водяное колесо и скрытую гидротурбинную установку. Результаты исследования демонстрируют возможность устойчивого развития городских пространств через совмещение инженерной инфраструктуры с архитектурным дизайном. Проект способствует повышению туристической привлекательности района и популяризации возобновляемой энергетики.

Ключевые слова озеро Сайран, малая гидроэнергетика, архитектурное проектирование, водяная мельница, устойчивое развитие, городская среда, возобновляемая энергия.

Информация об авторах:

Ержанов А.Б. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: Arnur.han@yandex.kz*

Удовичкин Р.В. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: Dopa.kom1977@gmail.com*

Ардакулы М. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: Mirasardakuly6@gmail.com*

Мырза (Толеуханова) А. О. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: aselya.toleukhanova@mail.ru*

Елемес Д.Е. *К.т.н., ассоциированный профессор КазАДИ, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: techmashkz@gmail.com*

1. Введение

В условиях роста урбанизации и повышения нагрузки на городскую инфраструктуру особую актуальность приобретает интеграция принципов устойчивого развития в архитектуру общественных пространств. Одним из направлений такой интеграции является использование локальных источников возобновляемой энергии непосредственно в структуре городской среды.

Современная урбанистика рассматривает энергетические объекты не только как инженерные системы, но и как элементы архитектурной композиции, способные формировать новые общественные пространства и повышать туристическую привлекательность территории.

Особый интерес представляют рекреационные зоны городских водоёмов. Интеграция малых гидроэнергетических установок в такие территории позволяет одновременно решать задачи экологической устойчивости, энергоэффективности и развития городской туристической инфраструктуры.

Одним из перспективных объектов для реализации подобных решений является озеро Сайран. Сайран является искусственным водохранилищем, созданным путём строительства дамбы на реке Большая Алматинка. Площадь водоёма составляет около 50 га, а общий объём воды достигает 2 млн м³ [1,2].

Гидрологический режим водохранилища Сайран формируется за счет двух основных компонентов. Первый - поверхностный сток реки Большая Алматинка, регулируемый водозаборными сооружениями. Второй - сброс ливневых вод городской канализационной сети через систему коллекторов диаметром до 2000 мм [1,6]. Именно второй источник, обладающий постоянным движением потока даже в межсезонье, представляет интерес для установки микро-ГЭС проточного типа.

Научная проблема исследования заключается в недостаточной разработанности архитектурных решений, позволяющих интегрировать энергообъекты в структуру рекреационных территорий без ухудшения их эстетических и функциональных характеристик.

Цель исследования - разработать архитектурную концепцию энергообъекта на территории озера Сайран, сочетающую функции локальной энергетической генерации и туристической инфраструктуры.

2. Материалы и методы

Исследование выполнялось с использованием следующих методов:

2.1 Градостроительный анализ территории

Были исследованы: планировочная структура территории озера; расположение притоков воды; пешеходные и транспортные связи; визуальные доминанты ландшафта.

Особое внимание уделялось зоне подземного трубного водопритока, где формируется устойчивый поток воды (Рисунок 1).

2.2 Архитектурное моделирование

На основе анализа была разработана архитектурная концепция водяной мельницы, стилизованной под традиционные мельницы Европы и Центральной Азии [15,16,20].

В состав комплекса входят: здание мельницы; водяное колесо; гидроэнергетическая установка; кафе; пекарня; туристическая площадка.

2.3 Предварительный гидравлический расчёт

Для оценки возможности выработки электроэнергии использовалась базовая формула гидроэнергетики [7,8,10]: $$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot \eta$$

где: ρ - плотность воды (1000 кг/м³); g - ускорение свободного падения (9.81 м/с²); Q - расход воды; H – напор; η - КПД установки.



Рисунок 1. Схема расположения проектируемого объекта «Водяная мельница Сайран» на территории водохранилища [материалы автора]

Предварительные параметры для водопритока: Q ≈ 0.4–0.8 м³/с; H ≈ 1.5–2.5 м
Предварительная мощность установки 5–15 кВт.
КПД системы η ≈ 0,75
Расчет мощности
Данный уровень мощности достаточен для обеспечения: освещения набережной; декоративной подсветки; питания инфраструктуры комплекса; частичного энергоснабжения прилегающих объектов.
Таким образом, потенциальная мощность мини-ГЭС составляет 8–10 кВт**.**
Важным ограничением является сезонная неравномерность стока ливневых коллекторов [6,12]. Для обеспечения бесперебойного освещения принято расчетное значение расхода Q = 0.4 м³/с (гарантированный летний минимум). Пиковая мощность в весенний период может достигать 15 кВт, избыток которой предлагается аккумулировать или передавать в сеть освещения автостанции «Сайран»

3. Результаты

В результате исследования разработана архитектурная концепция энергообъекта «Водяная мельница Сайран».

3.1 Архитектурная концепция

Проектируемый объект представляет собой архитектурный комплекс, выполненный в стилистике исторической водяной мельницы (Рисунок 2) [15,17,18].
Основные элементы комплекса:
1. Мельничное здание - двухэтажное деревянное сооружение; каменный фундамент; декоративные элементы традиционной архитектуры.
2. Водяное колесо - диаметр около 4–5 м; деревянная конструкция; размещается на канале притока воды [16,17].
Колесо выполняет две функции [18]:
- визуально демонстрирует традиционный принцип использования энергии воды;
- передаёт вращение на декоративные механизмы мельницы.
Основная выработка электроэнергии осуществляется скрытой гидротурбинной установкой, размещённой внутри гидротехнического канала [11,12,14].



Рисунок 2. Архитектурная визуализация энергообъекта «Водяная мельница Сайран» [материалы автора]

3.2 Функциональная структура комплекса

Комплекс включает несколько функциональных зон:
- энергетическая зона – гидротурбина, генератор, система управления;
- культурно-образовательная зона - демонстрационная мельница, экспозиция традиционных технологий помола;

- туристическая зона – кафе, пекарня, смотровая площадка.

Внутри здания предусматривается установка настоящих жерновов, что позволит демонстрировать процесс помола зерна и производить небольшие объёмы муки (Рисунок 3).

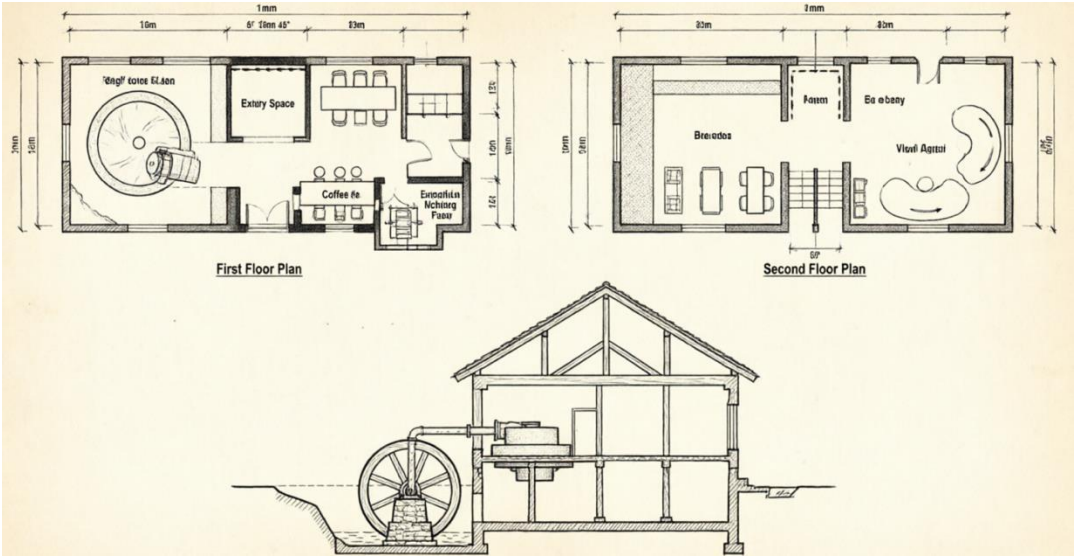


Рисунок 3. Архитектурно-планировочные решения здания водяной мельницы [материалы автора]

3.3 Энергетическое использование

Вырабатываемая электроэнергия планируется использовать для: освещения набережной озера; декоративной подсветки водных объектов; питания инфраструктуры комплекса.

При избыточной генерации возможно подключение к инфраструктуре расположенной рядом автостанции «Автовокзал Сайран».

3.4 Архитектурное значение проекта

Разработанный объект способен стать новой архитектурной доминантой территории озера и дополнительной туристической точкой притяжения.

Комбинация энергетической установки, культурного объекта и гастрономического пространства создаёт уникальный общественный комплекс, сочетающий технологии устойчивого развития и исторические архитектурные мотивы. Сравнения с подобными объектами Европы приведены в таблице 1.

Таблица1. Сравнение с историческими гидромельницами Европы

Параметр	**Европейские мельницы**	**Предлагаемый объект**
Тип колеса	Overshot	Overshot
Диаметр	4–6 м	4–5 м
Мощность	5–20 кВт	8–10 кВт
Функции	мукомольная	мукомольная + энергетическая + туристическая

Подобные объекты широко распространены в Германии, Нидерландах и Великобритании [20,21].

4. Обсуждение

Предложенное архитектурное решение демонстрирует возможность интеграции малых гидроэнергетических объектов в структуру городской рекреационной среды [22,23,24].

В отличие от традиционных гидротехнических сооружений, предлагаемый объект выполняет сразу несколько функций:

- энергетическую;
- культурно-образовательную;
- туристическую.

Использование архитектурного образа исторической мельницы позволяет создать визуально привлекательный объект, органично вписывающийся в природный ландшафт.

Дополнительным преимуществом является возможность демонстрации традиционных технологий помола зерна, что повышает образовательную ценность объекта.

Проект также способствует развитию экологического туризма и популяризации возобновляемой энергетики.

Ограничением исследования является предварительный характер гидравлических расчётов. Для реализации проекта требуется проведение детального инженерного проектирования.

5. Выводы

1. Озеро Сайран обладает гидрологическими условиями, позволяющими использовать энергию притока воды для малой гидроэнергетики.
2. Разработанная архитектурная концепция водяной мельницы позволяет интегрировать энергетическую установку в рекреационную территорию без ухудшения эстетических характеристик пространства.
3. Предварительные расчёты показывают возможность генерации 8–10 кВт электроэнергии, что достаточно для обеспечения инфраструктуры комплекса и части освещения территории озера.
4. Комбинация энергетической установки, туристического объекта и гастрономического пространства создаёт новый тип общественного архитектурного объекта, сочетающего технологии устойчивого развития и культурные традиции.

Перспективным направлением дальнейших исследований является детальная разработка гидротехнической части проекта и оценка его экономической эффективности.

Литература

11. Сайран (водохранилище) https://surl.li/rnsckf
12. Озеро Сайран: информация о водохранилище https://surl.li/qsvvfc
13. Биоэкологический мониторинг озера Сайран https://surl.lu/bgthyw
14. Герасимов Б.Г. Старая Алматы: Историко-краеведческий очерк. – Алматы: Жалын, 1992. – 256 с.
15. Водяные мельницы Верного https://surl.lt/osmeav
16. Река Большая Алматинка https://surl.li/uxxkwr
17. Малая гидроэлектростанция https://surl.lu/iopvly
18. Большой путь малой гидроэнергетики https://surl.li/glbqux
19. Blyashko V.V. Market of small hydropower in the world and Russia // MGIMO. – 2011. https://surl.li/gayvvs
20. Paish O. Micro-hydro power: Status and prospects // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2002. – Vol. 6. – P. 31-43.
21. Khan M.J., Bhuyan G., Iqbal M.T., Quaicoe J.E. Hydrokinetic energy conversion systems and assessment of horizontal and vertical axis turbines for river and tidal applications // Energy Policy. – 2009. – Vol. 37. – P. 1810-1820.
22. A review of micro hydro systems in urban areas: Opportunities and challenges // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2022. – Vol. 169. https://surl.li/qoktkj
23. Micro hydro https://surl.li/tfohbl

24. Micro-hydropower generation in urban water networks // NetZeroCities. – 2025. – https://surl.li/gtdhye
25. Watermill. https://surl.li/kzkrhd
26. Water wheel. https://surl.li/vpnyke
27. Waterwheel Design // Alternative Energy Tutorials. https://surl.lt/dijcqx
28. Aesthetic tradition and ancient technology: a case study of the water wheel // WIT Press. – 2004. https://surl.li/oojetk
29. Sustainable and Regenerative Development of Water Mills // ResearchGate. – 2025. https://www.researchgate.net/publication/360703843
30. Landscapes of Watermills: A Rural Cultural Heritage Perspective // MDPI Heritage. – 2024. – Vol. 7, Issue 9. https://www.mdpi.com/2571-9408/7/9/227
31. Importance of watermills for the Romanian local community // Journal of Rural Studies. – 2021. https://www.researchgate.net/publication/352462522
32. Urban Water Features // Sustainability Directory. – 2025. https://surl.li/qahfoe
33. How Water Features Shape Urban Space Identity // Mokafountain. https://surl.lt/tmgygd
34. Water Features for Sustainable Urban Landscapes // LinkedIn. – 2023. https://surl.li/ieryrv

УДК: 625.73:666.9
МРНТИ: 67.31.43

ОТСЕВЫ ДРОБЛЕНИЯ ИЗВЕСТНЯКА И КАРБОНАТНЫЕ ЦЕМЕНТЫ ДЛЯ УКРЕПЛЕНИЯ ОСНОВАНИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

[1]Барекаева Т.Э., [2]Жумагалиев А.С., [3]Кибиров Н.Т., [4]Нурдулла О.М., *[5]Кажетаев А.С.

[1,2,3,4,5] Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан
*Автор-корреспондент e-mail: arlan848bbb02@gmail.com

Аннотация В статье представлен аналитический обзор перспектив применения отсевов дробления известняка в сочетании с карбонатными цементами низкой водопотребности для устройства укрепленных оснований автомобильных дорог. На основе анализа литературных данных и нормативных документов обоснована техническая возможность использования вторичного карбонатного сырья в дорожно-строительных смесях. Рассмотрены физико-механические требования к цементогрунтам согласно действующим стандартам Казахстана и международному опыту. Выполнена предварительная оценка потенциала снижения клинкероемкости и углеродного следа при замене части портландцемента на ЦНВ с добавлением известняковых отходов. Показано, что теоретическое содержание клинкера может быть снижено на 30–40% при сохранении нормативной прочности оснований. Особое внимание уделено специфике сейсмически активных регионов, где повышенные требования к трещиностойкости и деформативности материалов делают применение низководопотребных вяжущих особенно актуальным. Сформулированы задачи и методология планируемых экспериментальных исследований. Результаты работы создают методическую основу для перехода к лабораторной апробации составов и последующему внедрению технологии в практику дорожного строительства.

Ключевые слова автомобильные дороги, основания дорог, отсевы дробления, карбонатные цементы, цементогрунты, сейсмостойкость, устойчивое развитие, аналитический обзор.

Информация об авторах:

Барекаева Т.Э. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Жумагалиев А.С. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Кибиров Н.Т. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Нурдулла О.М. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы,*

Казахстан
Кажетаев А.С. *Д.т.н., профессор КазАДИ, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: arlan848bbb02@gmail.com*

1. Введение

Развитие транспортной инфраструктуры Казахстана требует поиска экономически эффективных и экологически обоснованных решений в области дорожного строительства. Протяженность автомобильных дорог общего пользования в республике превышает 97 тысяч километров, из которых значительная часть эксплуатируется в условиях сейсмической активности, континентального климата и интенсивных транспортных нагрузок (Министерство индустрии и инфраструктурного развития РК, 2025). Традиционные технологии устройства оснований, основанные на применении портландцемента и привозных инертных материалов, характеризуются высокой материалоемкостью и углеродным следом, что противоречит принципам устойчивого развития.

Одновременно с этим горнодобывающая промышленность Казахстана формирует значительные объемы отходов, среди которых особое место занимают отсевы дробления известняка и других карбонатных пород. На месторождениях Жамбылской, Алматинской и Восточно-Казахстанской областей накоплено более 150 млн тонн таких материалов, размещение которых требует земельных ресурсов и создает экологические риски (Агентство по геологии и недропользованию РК, 2024). Утилизация данных отходов в дорожном строительстве способна обеспечить двойной эффект: сокращение полигонов накопления и снижение потребности в природных ресурсах.

Карбонатные цементы низкой водопотребности (ЦНВ) представляют собой перспективный класс вяжущих для укрепления грунтов. В отличие от традиционного портландцемента, ЦНВ содержат 30-70% карбонатных добавок, что обеспечивает снижение клинкероемкости и, соответственно, выбросов CO_2 (Хозин и др., 2021). Низкое водоцементное отношение (В/Ц=0,22-0,28) способствует формированию плотной структуры цементогрунта с повышенной морозостойкостью и трещиностойкостью - характеристиками, критически важными для дорожных покрытий в условиях Казахстана.

В сейсмически активных регионах, таких как Алматы и Южный Казахстан, к материалам оснований предъявляются дополнительные требования по способности рассеивать динамическую энергию и сопротивляться циклическим деформациям. Цементогрунты на основе карбонатных цементов демонстрируют потенциал для удовлетворения этих требований благодаря особенностям микроструктуры и реологическим свойствам (Sadykova et al., 2021).

Несмотря на теоретическую обоснованность применения ЦНВ и известняковых отходов в дорожном строительстве, комплексные исследования, учитывающие специфику Казахстана, отсутствуют. Существующие работы фокусируются либо на отдельных аспектах использования вторичных материалов, либо на технологических свойствах ЦНВ в бетоне, оставляя без внимания дорожные основания, подверженные совместному воздействию транспортных, климатических и сейсмических факторов.

Цель исследования - выполнить аналитическое обоснование технической и экологической эффективности применения отсевов дробления известняка в сочетании с карбонатными цементами низкой водопотребности для укрепления оснований автомобильных дорог в сейсмически активных регионах Казахстана.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

- Проанализировать физико-химические характеристики отсевов дробления известняковых месторождений Казахстана и их потенциальную совместимость с карбонатными цементами;
- Обобщить нормативные требования к прочности, морозостойкости и деформативности цементогрунтов для автомобильных дорог Республики Казахстан;

- Выполнить теоретическую оценку влияния содержания клинкера и типа вяжущего на ключевые показатели цементогрунтов на основе литературных данных;
- Обосновать методологию планируемых экспериментальных исследований, включая критерии оценки сейсмостойкости и долговечности;
- Провести предварительный технико-экономический и экологический анализ потенциальных преимуществ предложенных составов.

Научная новизна работы заключается в систематизации данных о свойствах карбонатных цементов и известняковых отходов применительно к дорожному строительству Казахстана, а также в разработке концептуальной методики оценки их эффективности в условиях сейсмической активности.

Практическая значимость состоит в формировании методической основы для перехода к лабораторным и опытно-промышленным испытаниям, что в перспективе позволит снизить стоимость строительства дорожных оснований на 20–30% и уменьшить углеродный след за счет утилизации промышленных отходов.

2. Материалы и методы

Исследование выполнено на основе аналитико-методологического подхода, включающего систематизацию литературных данных, анализ нормативной документации и предварительное моделирование свойств цементогрунтных смесей. Объектом анализа выступали грунты второй дорожно-климатической зоны Казахстана, характерные для предгорных районов Алматы и Жамбылской области, а также карбонатные цементы низкой водопотребности типа ЦНВ-50КБ и отсевы дробления известняка фракции 0–5 мм.

Методология работы построена по принципу поэтапного перехода от теоретического обоснования к планированию экспериментальной верификации. На первом этапе проведен обзор физико-механических свойств отсевов дробления известняка по данным казахстанских месторождений (Каратау, Актау, Усть-Каменогорск). Анализировались гранулометрический состав, содержание карбоната кальция, водопоглощение и химическая активность компонентов.

На втором этапе выполнена систематизация нормативных требований к укрепленным основаниям автомобильных дорог согласно СТ РК 1225-2013, ГОСТ 30744-2001 и международным стандартам (EN 14227-1). Определены целевые показатели прочности на сжатие (4,0-6,0 МПа в возрасте 28 суток), морозостойкости (не менее 50 циклов) и модуля упругости для оснований I-II категории.

Третий этап включал теоретическую оценку влияния состава смеси на свойства цементогрунта. На основе литературных данных (Хозин и др., 2021; Hargis et al., 2021) построены прогнозные зависимости прочности от содержания ЦНВ (3-5%), доли отсевов (0-40%) и водоцементного отношения (0,22-0,28). Использован метод экстраполяции экспериментальных результатов, полученных для бетонов, на грунтоцементные системы с учетом различий в структуре и механизме твердения.

Четвертый этап был направлен на обоснование методологии планируемых экспериментальных исследований. Разработана программа испытаний, включающая: приготовление образцов цилиндров диаметром 50 мм и высотой 100 мм; испытание на одноосное сжатие в возрасте 7, 28 и 90 суток; оценку морозостойкости методом попеременного замораживания-оттаивания; испытание на сульфатостойкость в растворе сульфата натрия (5%); динамические испытания на вибростенде с частотой 5-10 Гц для имитации сейсмических воздействий.

Заключительный этап включал предварительный технико-экономический анализ. Стоимость 1 м³ укрепленного грунта рассчитана на основе рыночных цен на цемент, отсевы и транспортные расходы по данным Казахстана. Экологический эффект оценен через снижение клинкероемкости и потенциальное сокращение выбросов CO_2 по методике, описанной в работе Хозина и др. (2021).

Обработка данных выполнена с использованием методов статистического анализа и регрессионного моделирования в среде Python. Все расчеты носят оценочный характер и предназначены для обоснования целесообразности перехода к экспериментальной стадии исследования.

3. Результаты

Анализ свойств отсевов дробления известняка показал, что материал характеризуется благоприятным гранулометрическим составом для применения в цементогрунтах: содержание частиц фракции 0-0,16 мм составляет 15-25%, что способствует заполнению пор и повышению плотности смеси. Содержание карбоната кальция достигает 92-96%, что обеспечивает химическую совместимость с карбонатными цементами и потенциал для участия в процессах вторичной карбонизации.

Сопоставление нормативных требований и литературных данных позволило сформулировать целевые параметры составов цементогрунтов (Таблица 1).

Таблица 1. Целевые параметры цементогрунтов на основе ЦНВ и отсевов известняка

Показатель	**Нормативное значение (СТ РК 1225-2013)**	**Прогнозное значение (на основе литературных данных)**
Прочность на сжатие, 28 сут, МПа	≥ 4,0	4,5–6,0
Водоцементное отношение	0,22–0,30	0,24–0,27
Морозостойкость, циклы	≥ 50	≥ 50 (прогноз)
Модуль упругости, МПа	2000–4000	2500–3500 (оценка)
Содержание клинкера, %	95–100 (ПЦ)	30–50 (ЦНВ)

Примечание: составлено авторами на основе анализа нормативных документов и литературных источников.

Теоретическая оценка влияния состава на прочность показала, что при содержании ЦНВ-50КБ 4% и замене 40% инертных материалов на отсевы дробления прогнозируемая прочность на сжатие в возрасте 28 суток может достигать 4,9-5,8 МПа. Это объясняется эффектом микроармирования карбонатными частицами и улучшением гранулометрического состава смеси.

Предварительный расчет экологического эффекта демонстрирует, что снижение доли клинкера с 95% до 50% позволяет теоретически уменьшить удельные выбросы CO_2 на 350–400 кг/т вяжущего (Hargis et al., 2021). С учетом утилизации 40% отсевов дробления общий экологический выигрыш может быть дополнительно усилен за счет сокращения площадей отвалов.

Экономический анализ показывает, что стоимость 1 м³ укрепленного грунта при использовании ЦНВ с отсевами может быть на 25-30% ниже по сравнению с традиционными составами на портландцементе. Основной вклад в экономию вносит замена части клинкерного вяжущего и снижение транспортных расходов за счет использования местных отходов. На основе проведенного анализа сформулирована программа планируемых экспериментальных исследований (Рисунок 1).

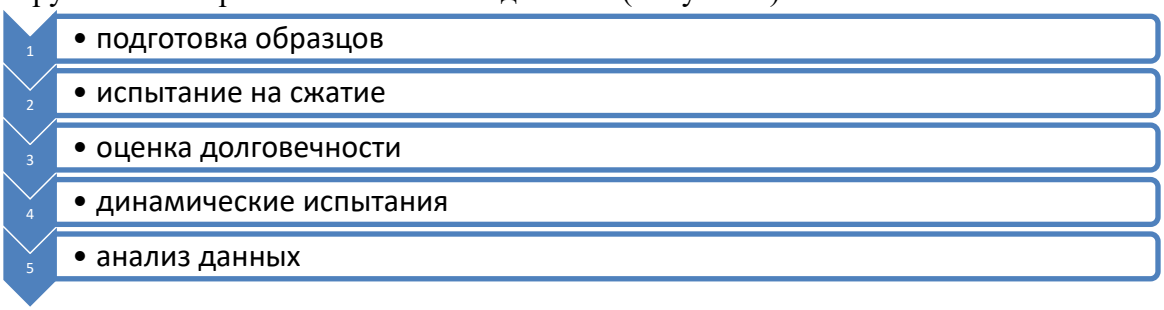


Рисунок 1. Блок-схема планируемых экспериментальных исследований

4. Обсуждение

Полученные аналитические результаты свидетельствуют о высоком потенциале применения отсевов дробления известняка в сочетании с карбонатными цементами низкой водопотребности для дорожного строительства Казахстана. Благоприятный гранулометрический состав отсевов и их химическая совместимость с ЦНВ создают предпосылки для формирования плотной структуры цементогрунта с улучшенными прочностными характеристиками.

В контексте сейсмической устойчивости теоретические данные указывают на то, что низкое водоцементное отношение ЦНВ способствует снижению пористости и повышению трещиностойкости, что критически важно для оснований в сейсмоопасных регионах. Плотная структура цементогрунта способна эффективнее рассеивать динамическую энергию и сопротивляться циклическим деформациям по сравнению с традиционными составами.

Экологический и экономический анализ подтверждает целесообразность дальнейшего исследования данного направления. Снижение клинкероемкости на 30–40% не только уменьшает углеродный след, но и снижает зависимость от импортных вяжущих, что имеет стратегическое значение для развития дорожной отрасли Казахстана.

Ограничением текущего этапа исследования является отсутствие экспериментальных данных, что не позволяет верифицировать прогнозные оценки. Для подтверждения полученных выводов необходима реализация запланированной программы лабораторных испытаний с последующей опытно-промышленной апробацией на реальных участках автомобильных дорог.

Также требуется разработка нормативной документации, регламентирующей применение карбонатных цементов и известняковых отходов в дорожном строительстве, так как текущие стандарты ориентированы преимущественно на портландцемент и природные инертные материалы.

5. Выводы

Аналитический обзор подтвердил техническую возможность применения отсевов дробления известняка в сочетании с карбонатными цементами низкой водопотребности для укрепления оснований автомобильных дорог. Прогнозные оценки прочности (4,5-6,0 МПа) соответствуют нормативным требованиям СТ РК 1225-2013.

Установлено, что благоприятный гранулометрический состав отсевов и их химическая совместимость с ЦНВ создают предпосылки для формирования плотной структуры цементогрунта с повышенной трещиностойкостью, что особенно актуально для сейсмически активных регионов.

Предварительная экологическая оценка показывает потенциал снижения удельных выбросов CO_2 на 350-400 кг/т вяжущего за счет уменьшения клинкероемкости с 95% до 50%. Дополнительный эффект достигается за счет утилизации промышленных отходов.

Экономический анализ демонстрирует возможность снижения стоимости 1 м³ укрепленного грунта на 25-30% при использовании местных отсевов и карбонатных цементов.

Сформулирована методология планируемых экспериментальных исследований, включающая испытания на прочность, долговечность и сейсмостойкость. Реализация данной программы позволит перейти от теоретического обоснования к практическому внедрению технологии.

Литература

1. Akhmedyarova, A. (2023). Housing market dynamics in Kazakhstan: An estimated DSGE model. International Real Estate Review, 26(3), 421–464. https://www.gssinst.org/irer/wp-content/uploads/2024/07/vol26-no3_5-Housing-Market-Dynamics-in-Kazakhstan.pdf
2. Amey, R. M. J., Elliott, J. R., Hussain, E., Walker, R. T., Pagani, M., Silva, V., Abdrakhmatov, K., & Watson, C. S. (2021). Significant seismic risk potential from buried faults beneath Almaty City, Kazakhstan, revealed from high-resolution satellite DEMs. Earth and Space Science, 8(9), e2021EA001664. https://doi.org/10.1029/2021EA001664
3. Fei, J., Mingshan, Z., Maochun, X., & Liwu, M. (2024). Maximising the benefits of calcium carbonate in sustainable cements: Opportunities and challenges associated with alkaline waste carbonation. Materials Sustainability, 2(1), 1. https://doi.org/10.1038/s44296-024-00005-z
4. Gulyakov, E. G., Hozin, V. G., Borovskih, I. V., & Zigangirov, A. I. (2025). Vysokoprochnye cementy nizkoj vodopotrebnosti [High-strength low water-demand cements]. Tekhnika i tekhnologiya silikatov, 32(2), 115-127. https://doi.org/10.62980/2076-0655-2025-115-127
5. Hargis, C. W., Chen, I. A., Devenney, M., Fernandez, M. J., Gilliam, R. J., & Thatcher, R. P. (2021). Calcium Carbonate Cement: A Carbon Capture, Utilization, and Storage (CCUS) Technique. Materials, 14(11), 2709. https://doi.org/10.3390/ma14112709
6. Hozin, V. G., Hohryakov, O. V., & Sibgatullin, I. R. (2021). Karbonatnye cementy nizkoj vodopotrebnosti [Carbonate low water-demand cements]. ASV. https://iasv.ru/karbonatnye-tsementy-nizkoj-vodopotrebnosti.html
7. Ministry of Industry and Infrastructure Development of the Republic of Kazakhstan. (2024). State program for development of the transport complex until 2029. https://gov.kz/memleket/entities/mdip?lang=ru
8. Rashid, M. S., Zhang, D., Moon, S.-W., Sarkulova, D., Shokbarov, Y., & Kim, J. (2023). Macro-seismic assessment for residential buildings constructed in the Soviet Union era in Almaty, Kazakhstan. Buildings, 13, 1053. https://doi.org/10.3390/buildings13041053
9. Sadykova, A. B., Silacheva, N. V., & Stepanenko, N. P. (2021). Seismic micro zoning of the territory of Almaty on a new methodological basis. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences, 1(445), 127–134. https://doi.org/10.32014/2021.2518-170X.18
10. Scrivener, K. L., John, V. M., & Gartner, E. M. (2018). Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO2 cement-based materials industry. Cement and Concrete Research, 114, 2-26. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.03.015
11. Yestemessov, Z. A., Auezova, Y. A., Uralkhanova, A. U., Ibraimov, D. R., Odintsov, D. S., & Khaidarov, A. M. (2020). Construction and technical properties of PC 500 D0 cement. ҚazBSҚA Habarshysy, 3(77), 129-137. https://doi.org/10.51488/1680-080X/2020.3-17
12. Zhusupbekova, D. (2026, January 13). Proizvodstva cementa v Kazahstane dostiglo istoricheskogo rekorda [Cement production in Kazakhstan reached a historic record]. Kazinform. https://www.inform.kz/ru/proizvodstvo-tsementa-v-kazahstane-dostiglo-istoricheskogo-rekorda-fbc207
13. Kazhetaev, A.S., Rustemov, I.A., & Yelemes, D.Y. (2025). Comprehensive utilization of limestone crushing screenings in road construction. In: Proceedings of the International Conference "Strategies, Materials and Technologies for Sustainable and Decarbonized Road Construction and Road Maintenance (TC 4.5)" (pp. 19–22). Almaty, Kazakhstan.

УДК: 624.01:666.9
МРНТИ: 67.31.47

ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНЫЕ БЕТОНЫ НА ОСНОВЕ КАРБОНАТНЫХ ЦЕМЕНТОВ И ИЗВЕСТНЯКОВЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

[1]Алмас Ш.А., [2]Дастанов Б.К., [3]Климов Е.С., *[4]Кажетаев А.С.

[1,2,3,4,5] Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан
*Автор-корреспондент e-mail: arlan848bbb02@gmail.com

Аннотация В статье представлено аналитическое обоснование применения карбонатных цементов низкой водопотребности с использованием известняковых отходов для производства бетонов мостовых конструкций. Рассмотрены требования к бетонам искусственных сооружений автомобильных дорог согласно действующим нормативным документам Казахстана и международным стандартам. Выполнена теоретическая оценка влияния содержания клинкера и типа вяжущего на ключевые показатели бетонных смесей для мостостроения. Показано, что применение ЦНВ-50КБ с добавлением молотых отсевов дробления позволяет прогнозировать достижение класса бетона В40–В50 при снижении клинкероемкости на 40–50%. Особое внимание уделено специфике эксплуатации мостовых сооружений в сейсмических условиях, где повышенные требования к трещиностойкости, морозостойкости и коррозионной стойкости делают применение низководопотребных вяжущих особенно актуальным. Сформулированы критерии оценки долговечности и методология планируемых исследований. Результаты работы создают научную основу для перехода к экспериментальной апробации составов бетонов для ответственных строительных конструкций.

Ключевые слова мостовые сооружения, карбонатные цементы, известняковые отходы, бетоны низкой водопотребности, сейсмостойкость, долговечность, устойчивое строительство.

Информация об авторах:

Алмас Ш.А. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Дастанов Б.К. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Климов Е.С. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Кажетаев А.С. *Д.т.н., профессор КазАДИ, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: arlan848bbb02@gmail.com*

1. Введение

Строительство искусственных сооружений на автомобильных дорогах Казахстана требует внедрения ресурсосберегающих технологий, способных обеспечить долговечность конструкций в условиях интенсивных транспортных нагрузок и агрессивного климатического воздействия. В республике эксплуатируется более 12 тысяч мостов и путепроводов, значительная часть которых нуждается в реконструкции или замене (Министерство индустрии и инфраструктурного развития РК, 2025). Традиционные подходы к производству бетонов для мостостроения, основанные на использовании портландцемента высокой марки и природных заполнителей, характеризуются высокой энергоемкостью и значительным углеродным следом.

Горнодобывающая промышленность Казахстана формирует существенные объемы вторичного минерального сырья, включая отсевы дробления известняка. На месторождениях Жамбылской, Алматинской и Карагандинской областей накоплено более 150 млн тонн таких материалов, размещение которых требует земельных ресурсов и создает экологические риски (Агентство по геологии и недропользованию РК, 2024). Интеграция данных отходов в производство бетонов для ответственных конструкций

способна обеспечить двойной эффект: сокращение полигонов накопления и снижение потребности в природных заполнителях.

Карбонатные цементы низкой водопотребности представляют собой перспективное вяжущее для бетонов мостовых конструкций. В отличие от стандартного портландцемента, ЦНВ содержат 30-70% карбонатных добавок, что обеспечивает снижение клинкероемкости и, соответственно, выбросов CO_2 (Хозин и др., 2021). Низкое водоцементное отношение (В/Ц=0,22-0,28) способствует формированию плотной структуры бетона с повышенной морозостойкостью, коррозионной стойкостью и трещиностойкостью - характеристиками, критически важными для искусственных сооружений в условиях континентального климата.

В сейсмически активных регионах, таких как Алматы, Восточно-Казахстанская и Жамбылская области, к бетонам мостовых конструкций предъявляются дополнительные требования по способности сопротивляться циклическим деформациям и динамическим нагрузкам. Бетоны на основе карбонатных цементов демонстрируют потенциал для удовлетворения этих требований благодаря особенностям микроструктуры и реологическим свойствам (Sadykova et al., 2021).

Несмотря на теоретическую обоснованность применения ЦНВ и известняковых отходов в строительстве, комплексные исследования для мостовых сооружений Казахстана отсутствуют. Существующие работы фокусируются либо на отдельных аспектах использования вторичных материалов в бетоне, либо на технологических свойствах ЦНВ, оставляя без внимания специфику ответственных конструкций, подверженных совместному воздействию транспортных, климатических и сейсмических факторов.

Цель исследования - выполнить аналитическое обоснование технической и экологической эффективности применения отсевов дробления известняка в сочетании с карбонатными цементами низкой водопотребности для бетонов мостовых сооружений в сейсмически активных регионах Казахстана.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

- Проанализировать физико-химические характеристики отсевов дробления известняковых месторождений Казахстана и их потенциальную совместимость с карбонатными цементами в бетонах высоких марок;
- Обобщить нормативные требования к прочности, морозостойкости, водонепроницаемости и коррозионной стойкости бетонов для мостовых конструкций Республики Казахстан;
- Выполнить теоретическую оценку влияния содержания клинкера и типа вяжущего на ключевые показатели бетонов на основе литературных данных;
- Обосновать методологию планируемых экспериментальных исследований, включая критерии оценки сейсмостойкости и долговечности мостовых конструкций;
- Провести предварительный технико-экономический и экологический анализ потенциальных преимуществ предложенных составов.

Научная новизна работы заключается в систематизации данных о свойствах карбонатных цементов и известняковых отходов применительно к мостостроению Казахстана, а также в разработке концептуальной методики оценки их эффективности в условиях сейсмической активности и агрессивной среды.

Практическая значимость состоит в формировании методической основы для перехода к лабораторным и опытно-промышленным испытаниям, что в перспективе позволит снизить стоимость строительства мостовых конструкций на 20-30% и уменьшить углеродный след за счет утилизации промышленных отходов.

2. Материалы и методы

Исследование выполнено на основе аналитико-методологического подхода, включающего систематизацию литературных данных, анализ нормативной документации и

предварительное моделирование свойств бетонных смесей. Объектом анализа выступали бетоны классов В40-В50 для мостовых конструкций, карбонатные цементы низкой водопотребности типа ЦНВ-50КБ и отсевы дробления известняка фракции 0-5 мм и 5-20 мм.

Методология работы построена по принципу поэтапного перехода от теоретического обоснования к планированию экспериментальной верификации. На первом этапе проведен обзор физико-механических свойств отсевов дробления известняка по данным казахстанских месторождений (Каратау, Актау, Усть-Каменогорск). Анализировались гранулометрический состав, содержание карбоната кальция, водопоглощение, прочность исходной породы и химическая активность компонентов.

На втором этапе выполнена систематизация нормативных требований к бетонам мостовых сооружений согласно СТ РК 1023-2013, ГОСТ 26633-2015 и международным стандартам (EN 206, Eurocode 2). Определены целевые показатели прочности на сжатие (40–60 МПа в возрасте 28 суток), морозостойкости (не менее 200 циклов), водонепроницаемости (W8-W12) и коррозионной стойкости к противогололедным реагентам.

Третий этап включал теоретическую оценку влияния состава смеси на свойства бетона. На основе литературных данных (Хозин и др., 2021; Hargis et al., 2021) построены прогнозные зависимости прочности от содержания ЦНВ (40-60%), доли отсевов (20-50%) и водоцементного отношения (0,22-0,28). Использован метод экстраполяции экспериментальных результатов, полученных для строительных бетонов, на мостовые конструкции с учетом различий в требованиях к долговечности и эксплуатационной надежности.

Четвертый этап был направлен на обоснование методологии планируемых экспериментальных исследований. Разработана программа испытаний, включающая: приготовление образцов призм 100×100×400 мм и кубов 100×100×100 мм; испытание на сжатие и изгиб в возрасте 7, 28 и 90 суток; оценку морозостойкости методом попеременного замораживания-оттаивания (до 300 циклов); испытание на коррозионную стойкость в растворе хлорида натрия (5%); динамические испытания на вибростенде с частотой 2-10 Гц для имитации сейсмических и транспортных нагрузок.

Заключительный этап включал предварительный технико-экономический анализ. Стоимость 1 м³ бетона рассчитана на основе рыночных цен на цемент, заполнители и транспортные расходы по данным Казахстана. Экологический эффект оценен через снижение клинкероемкости и потенциальное сокращение выбросов CO_2 по методике, описанной в работе Хозина и др. (2021). Дополнительно учтены данные о применении известняковых отходов в дорожном строительстве (Kazhetaev et al., 2025).

Обработка данных выполнена с использованием методов статистического анализа и регрессионного моделирования в среде Python. Все расчеты носят оценочный характер и предназначены для обоснования целесообразности перехода к экспериментальной стадии исследования.

3. Результаты

Анализ свойств отсевов дробления известняка показал, что материал характеризуется благоприятным гранулометрическим составом для применения в высокопрочных бетонах: модуль крупности составляет 2,5-3,2, содержание пылевидных частиц – 3-8%, что соответствует требованиям для заполнителей бетонов классов В40-В50. Содержание карбоната кальция достигает 92-96%, что обеспечивает химическую совместимость с карбонатными цементами и потенциал для участия в процессах вторичной карбонизации.

Сопоставление нормативных требований и литературных данных позволило сформулировать целевые параметры составов бетонов для мостовых конструкций (Таблица 1).

Таблица 1. Целевые параметры бетонов на основе ЦНВ и отсевов известняка для мостовых сооружений

Показатель	**Нормативное значение (СТ РК 1023-2013)**	**Прогнозное значение (на основе литературных данных)**
Класс по прочности на сжатие	B40–B50	B40–B50
Водоцементное отношение	0,30–0,40	0,24–0,28
Морозостойкость, циклы	≥ 200	≥ 200 (прогноз)
Водонепроницаемость	W8–W12	W10–W12 (оценка)
Содержание клинкера, %	95–100 (ПЦ)	40–50 (ЦНВ)

Примечание: составлено авторами на основе анализа нормативных документов и литературных источников.

Теоретическая оценка влияния состава на прочность показала, что при содержании ЦНВ-50КБ 50% и замене 40% природных заполнителей на отсевы дробления прогнозируемая прочность на сжатие в возрасте 28 суток может достигать 45-55 МПа. Это объясняется эффектом микроармирования карбонатными частицами и улучшением гранулометрического состава бетонной смеси.

Предварительный расчет экологического эффекта демонстрирует, что снижение доли клинкера с 95% до 50% позволяет теоретически уменьшить удельные выбросы CO_2 на 350-400 кг/м³ бетона (Hargis et al., 2021). С учетом утилизации 40% отсевов дробления общий экологический выигрыш может быть дополнительно усилен за счет сокращения площадей отвалов и снижения транспортных расходов на доставку природных заполнителей.

Экономический анализ показывает, что стоимость 1 м³ бетона при использовании ЦНВ с отсевами может быть на 20-25% ниже по сравнению с традиционными составами на портландцементе высокой марки. Основной вклад в экономию вносит замена части клинкерного вяжущего и снижение стоимости заполнителей за счет использования местных отходов.

На основе проведенного анализа сформулирована программа планируемых экспериментальных исследований (Рисунок 1).



Рисунок 1. Блок-схема планируемых экспериментальных исследований бетонов для мостовых конструкций

4. Обсуждение

Полученные аналитические результаты свидетельствуют о высоком потенциале применения отсевов дробления известняка в сочетании с карбонатными цементами низкой водопотребности для мостостроения Казахстана. Благоприятный гранулометрический состав отсевов и их химическая совместимость с ЦНВ создают предпосылки для формирования плотной структуры бетона с улучшенными прочностными характеристиками.

В контексте сейсмической устойчивости теоретические данные указывают на то, что низкое водоцементное отношение ЦНВ способствует снижению пористости и повышению трещиностойкости, что критически важно для мостовых конструкций в сейсмоопасных

регионах. Плотная структура бетона способна эффективнее рассеивать динамическую энергию и сопротивляться циклическим деформациям по сравнению с традиционными составами.

Экологический и экономический анализ подтверждает целесообразность дальнейшего исследования данного направления. Снижение клинкероемкости на 40–50% не только уменьшает углеродный след, но и снижает зависимость от импортных вяжущих, что имеет стратегическое значение для развития строительной отрасли Казахстана.

Применение известняковых отходов в бетонах для искусственных сооружений дополняет исследования по использованию данных материалов в дорожных основаниях (Kazhetaev et al., 2025), создавая комплексный подход к утилизации вторичного сырья в транспортной инфраструктуре.

Ограничением текущего этапа исследования является отсутствие экспериментальных данных, что не позволяет верифицировать прогнозные оценки. Для подтверждения полученных выводов необходима реализация запланированной программы лабораторных испытаний с последующей опытно-промышленной апробацией на реальных объектах мостостроения.

Также требуется разработка нормативной документации, регламентирующей применение карбонатных цементов и известняковых отходов в бетонах для ответственных конструкций, так как текущие стандарты ориентированы преимущественно на портландцемент и природные инертные материалы.

5. Выводы

Аналитический обзор подтвердил техническую возможность применения отсевов дробления известняка в сочетании с карбонатными цементами низкой водопотребности для бетонов мостовых сооружений. Прогнозные оценки прочности (В40–В50) соответствуют нормативным требованиям СТ РК 1023-2013.

Установлено, что благоприятный гранулометрический состав отсевов и их химическая совместимость с ЦНВ создают предпосылки для формирования плотной структуры бетона с повышенной трещиностойкостью, что особенно актуально для сейсмически активных регионов.

Предварительная экологическая оценка показывает потенциал снижения удельных выбросов CO_2 на 350–400 кг/м³ бетона за счет уменьшения клинкероемкости с 95% до 50%. Дополнительный эффект достигается за счет утилизации промышленных отходов.

Экономический анализ демонстрирует возможность снижения стоимости 1 м³ бетона на 20–25% при использовании местных отсевов и карбонатных цементов.

Сформулирована методология планируемых экспериментальных исследований, включающая испытания на прочность, долговечность и сейсмостойкость. Реализация данной программы позволит перейти от теоретического обоснования к практическому внедрению технологии в мостостроение.

Литература

1. Akhmedyarova, A. (2023). Housing market dynamics in Kazakhstan: An estimated DSGE model. International Real Estate Review, 26(3), 421–464. https://www.gssinst.org/irer/wp-content/uploads/2024/07/vol26-no3_5-Housing-Market-Dynamics-in-Kazakhstan.pdf
2. Amey, R. M. J., Elliott, J. R., Hussain, E., Walker, R. T., Pagani, M., Silva, V., Abdrakhmatov, K., & Watson, C. S. (2021). Significant seismic risk potential from buried faults beneath Almaty City, Kazakhstan, revealed from high-resolution satellite DEMs. Earth and Space Science, 8(9), e2021EA001664. https://doi.org/10.1029/2021EA001664
3. Fei, J., Mingshan, Z., Maochun, X., & Liwu, M. (2024). Maximising the benefits of calcium carbonate in sustainable cements: Opportunities and challenges associated with

alkaline waste carbonation. Materials Sustainability, 2(1), 1. https://doi.org/10.1038/s44296-024-00005-z
4. Gulyakov, E. G., Hozin, V. G., Borovskih, I. V., & Zigangirov, A. I. (2025). Vysokoprochnye cementy nizkoj vodopotrebnosti [High-strength low water-demand cements]. Tekhnika i tekhnologiya silikatov, 32(2), 115-127. https://doi.org/10.62980/2076-0655-2025-115-127
5. Hargis, C. W., Chen, I. A., Devenney, M., Fernandez, M. J., Gilliam, R. J., & Thatcher, R. P. (2021). Calcium Carbonate Cement: A Carbon Capture, Utilization, and Storage (CCUS) Technique. Materials, 14(11), 2709. https://doi.org/10.3390/ma14112709
6. Hozin, V. G., Hohryakov, O. V., & Sibgatullin, I. R. (2021). Karbonatnye cementy nizkoj vodopotrebnosti [Carbonate low water-demand cements]. ASV. https://iasv.ru/karbonatnye-tsementy-nizkoj-vodopotrebnosti.html
7. Kazhetaev, A. S., Rustemov, I. A., & Yelemes, D. Y. (2025). Comprehensive utilization of limestone crushing screenings in road construction. In: Proceedings of the International Conference "Strategies, Materials and Technologies for Sustainable and Decarbonized Road Construction and Road Maintenance (TC 4.5)" (pp. 19–22). Almaty, Kazakhstan.
8. Ministry of Industry and Infrastructure Development of the Republic of Kazakhstan. (2024). State program for development of the transport complex until 2029. https://gov.kz/memleket/entities/mdip?lang=ru
9. Rashid, M. S., Zhang, D., Moon, S.-W., Sarkulova, D., Shokbarov, Y., & Kim, J. (2023). Macro-seismic assessment for residential buildings constructed in the Soviet Union era in Almaty, Kazakhstan. Buildings, 13, 1053. https://doi.org/10.3390/buildings13041053
10. Sadykova, A. B., Silacheva, N. V., & Stepanenko, N. P. (2021). Seismic micro zoning of the territory of Almaty on a new methodological basis. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences, 1(445), 127–134. https://doi.org/10.32014/2021.2518-170X.18
11. Scrivener, K. L., John, V. M., & Gartner, E. M. (2018). Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO2 cement-based materials industry. Cement and Concrete Research, 114, 2-26. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.03.015
12. Yestemessov, Z. A., Auezova, Y. A., Uralkhanova, A. U., Ibraimov, D. R., Odintsov, D. S., & Khaidarov, A. M. (2020). Construction and technical properties of PC 500 D0 cement. ҚazBSҚA Habarshysy, 3(77), 129-137. https://doi.org/10.51488/1680-080X/2020.3-17
13. Zhusupbekova, D. (2026, January 13). Proizvodstva cementa v Kazahstane dostiglo istoricheskogo rekorda [Cement production in Kazakhstan reached a historic record]. Kazinform. https://www.inform.kz/ru/proizvodstvo-tsementa-v-kazahstane-dostiglo-istoricheskogo-rekorda-fbc207

УДК: 625.855.3
МРНТИ: 67.09.33

АНАЛИЗ ОПЫТА ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛЫХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

[1]Кулумбетов Д. Н., [2]Шакизинда А.Б., [3]Едресов А.А., [4]Есенгул А.Е., *[5]Косенко И.Н.

[1,2,3,4,5] Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан
*Автор-корреспондент e-mail: kin28@mail.ru

Аннотация В статье проведён системный анализ технологических подходов к производству и укладке теплых асфальтобетонных смесей, направленных на снижение энергоемкости дорожно-строительных процессов при сохранении

эксплуатационных характеристик покрытий. Рассмотрены механизмы модификации битумного вяжущего посредством введения органических добавок, поверхностно-активных веществ и механического вспенивания. Установлено, что снижение температурного режима приготовления на 20–50 °С обеспечивает сокращение расхода топлива до 20 %, уменьшение выбросов летучих соединений более чем на 70 % и расширение температурного окна укладки до –5 °С. Проанализированы нормативные требования Республики Казахстан, адаптированные под условия резко континентального климата. Результаты исследования демонстрируют, что корректный подбор модификаторов и соблюдение технологических регламентов позволяют повысить долговечность покрытий на 2–3 года, оптимизировать логистику транспортировки смесей и снизить себестоимость дорожных работ без потери показателей трещиностойкости, водостойкости и сопротивления пластическим деформациям.

Ключевые слова теплые асфальтобетонные смеси, энергосберегающие технологии, вспененный битум, химические добавки, экологическая безопасность, температурные режимы укладки

Информация об авторах:

Кулумбетов Д. Н. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Шакизинда А.Б. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Едресов А.А. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Есенгул А.Е. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Косенко И.Н. *К.т.н., профессор КазАДИ, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: kin28@mail.ru*

1. Введение

Строительство, капитальный ремонт и реконструкция автомобильных дорог традиционно базируются на применении битумоминеральных материалов, стоимость которых демонстрирует устойчивый рост. Удорожание обусловлено повышением цен на сырьевые компоненты, увеличением тарифов на энергоресурсы, газ, электроэнергию и железнодорожные перевозки, что напрямую трансформируется в рост себестоимости дорожных покрытий. В условиях ужесточения экологических норм и необходимости оптимизации бюджетных расходов перед дорожной отраслью возникает задача повышения эксплуатационных параметров асфальтобетонных конструкций при одновременном снижении материалоемкости и энергоемкости производственных циклов. В этом контексте технологии теплого асфальтобетона приобретают стратегическое значение, поскольку позволяют готовить, транспортировать и уплотнять смесь при температурах на 20–50 °С ниже классических значений, не утрачивая проектных физико-механических характеристик.

Исторически попытки применения асфальтобетонных смесей с пониженным температурным режимом сталкивались с существенными ограничениями. Ранее под «теплыми» смесями понимали материалы на вязких или жидких битумах, при укладке которых не удавалось достичь нормативной плотности. В результате доуплотнение происходило в течение первых недель эксплуатации под воздействием колесных нагрузок, что сопровождалось образованием колеи, наплывов и преждевременным разрушением структуры покрытия. Современные инженерные решения кардинально изменили данную парадигму. Внедрение химических модификаторов, поверхностно-активных веществ и систем механического вспенивания обеспечивает стабильное обволакивание минерального заполнителя вяжущим при сниженных температурах, что гарантирует достижение требуемой степени уплотнения в процессе укладки. Таким образом, возрождение теплых технологий представляет собой не возврат к устаревшим практикам, а качественно новый этап развития дорожно-строительной отрасли, отвечающий требованиям устойчивого развития и ресурсосбережения.

Целью настоящего исследования является систематизация отечественного и зарубежного опыта применения теплых асфальтобетонных смесей, оценка технологических преимуществ различных методов модификации вяжущего и обоснование условий их эффективного внедрения в практику дорожного строительства Республики Казахстан с учётом климатических и нормативных особенностей региона.

2. Материалы и методы

Методологическая база исследования опирается на сравнительный анализ технологических решений, применяемых для снижения вязкости битумного вяжущего при пониженных температурах. В международной практике выделяют два принципиальных направления: химическую модификацию и физическое вспенивание. Химические добавки подразделяются на органические соединения (синтетические парафины, амиды жирных кислот) и поверхностно-активные вещества (ПАВ). Органические модификаторы функционируют по принципу термочувствительного пластифицирования: при температурах выше 90 °С они переходят в жидкую фазу, снижая вязкость битума и облегчая перемешивание с минеральными материалами, а при остывании кристаллизуются, формируя микроармирующий каркас, повышающий устойчивость покрытия к колееобразованию. ПАВ, в свою очередь, снижают межфазное натяжение на границе раздела «вяжущее–заполнитель», что способствует более равномерному обволакиванию частиц при температурах 100–120 °С. Комплексные присадки, такие как Evotherm, объединяют оба механизма действия и демонстрируют высокую эффективность при производстве щебеночно-мастичных, резинобитумных и традиционных асфальтобетонов.

Альтернативный подход основан на механическом вспенивании битума. Технология предусматривает дозированное введение холодной воды (до 2 % от массы вяжущего) в разогретый битумный поток. Мгновенное испарение влаги вызывает кратковременное увеличение объёма битума в 10–15 раз, что обеспечивает интенсивное покрытие минеральных компонентов при температурах смешивания 80–110 °С. Данный метод не требует ввода сторонних химических реагентов и получил наибольшее распространение в Северной Америке, где около 90 % теплых смесей производятся по данной схеме. Установка включает насос высокого давления и реактор-смеситель, интегрированный в линию подачи битума к мешалке.

Для условий Казахстана, характеризующихся резкими сезонными перепадами температур и протяжённостью логистических маршрутов, приоритетным является комбинированный подход, учитывающий свойства местного минерального сырья и требования нормативных документов РК 218-120-2014 и РК 218-102-2014. В ходе исследования проведён анализ температурных режимов производства и укладки, показателей энергопотребления, объёмов выбросов загрязняющих веществ, а также физико-механических характеристик покрытий (коэффициент водостойкости, предел прочности при растяжении на изгиб, глубина колеи, число текучести).

3. Результаты

Снижение температуры нагрева минеральной части и вяжущего на 30-40°С обеспечивает сокращение расхода топлива на 15-20%, что напрямую трансформируется в уменьшение себестоимости тонны уложенного покрытия. При нагреве битума традиционно выделяются летучие органические соединения, оксиды азота и мелкодисперсная пыль. Переход на температурный режим 120-150°С вместо классических 160-180°С снижает выбросы VOC, CO_2 и NO_x более чем на 70%, создавая безопасные условия для персонала укладочных комплексов и минимизируя экологическую нагрузку на придорожные территории.

Теплые асфальтобетонные смеси демонстрируют повышенную технологическую устойчивость к длительным перевозкам. Благодаря замедленному остыванию материал

сохраняет укладочные свойства на расстояниях до 250-300 км, что расширяет радиус эффективной доставки от асфальтобетонного завода до объекта строительства. Укладку смеси возможно проводить при температуре окружающего воздуха до -5 °С, что существенно нивелирует фактор сезонности и позволяет планировать дорожные работы в периоды, ранее считавшиеся неблагоприятными. Снижение термического старения вяжущего на 25-30% повышает эластичность битумной фазы в зимний период, замедляет микротрещинообразование и в среднем продлевает межремонтный срок службы покрытия на 2-3 года.

При влажности инертных материалов около 5% снижение температуры нагрева на 30°С позволяет увеличить часовую производительность асфальтобетонного завода на 8-10 % за счёт сокращения времени термической обработки и цикла смешивания. Введение химических добавок в объёме 0,2-0,5% от массы вяжущего обеспечивает снижение температурного окна производства до 125-130°С и укладки до 90-110°С. Установлено, что тёплые технологии не оказывают отрицательного влияния на динамический модуль упругости и позволяют применять смеси в конструкциях дорожных одежд без корректировки расчётных характеристик.

Результаты практического применения показывают, что на вспененном битуме успешно производят и укладывают щебеночно-мастичный асфальтобетон при температурах на 15-30°С ниже нормативных, при этом улучшаются пластичность и физико-механические свойства, а также снижаются потери смеси при транспортировке.

Независимо от выбранного метода модификации, тёплые смеси удовлетворяют нормативным требованиям по коэффициенту водостойкости, пределу прочности при растяжении на изгибе и сопротивлению сдвигу. Применение органических добавок повышает устойчивость к пластическим деформациям, однако требует контроля трещиностойкости при отрицательных температурах. Рекомендуемые температурные режимы составляют: для производства тёплых смесей – 77-120 °С, горячих – 130-180 °С; для укладки тёплых смесей - свыше 70 °С, горячих - свыше 110 °С.

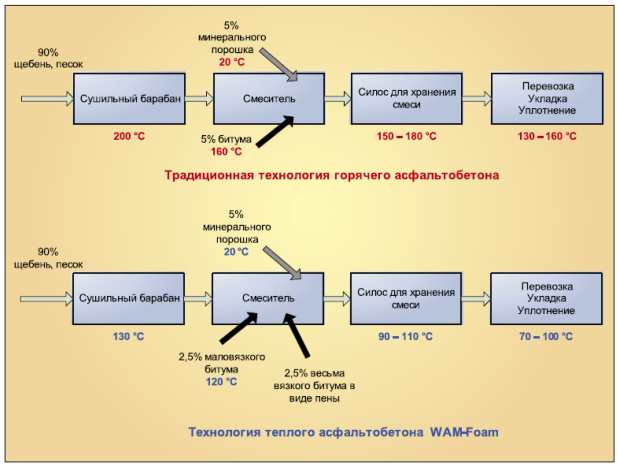


Рисунок 1. Технологии приготовления асфальтобетонных смесей.

4. Обсуждение

Полученные данные согласуются с международными исследованиями, подтверждающими экономическую и экологическую целесообразность внедрения тёплых асфальтобетонов. Основным преимуществом является комплексное воздействие на производственную цепочку: от сокращения энергозатрат на заводе до улучшения условий труда на этапе уплотнения. В США и странах Европы объёмы применения данных технологий исчисляются десятками миллионов тонн ежегодно, что формирует устойчивый

рынок энергосберегающих материалов. При этом необходимо учитывать, что органические добавки, кристаллизуясь в структуре вяжущего, повышают жёсткость битумной плёнки, что благоприятно сказывается на сопротивлении колееобразованию, но может незначительно снижать предельную относительную деформацию растяжения в условиях низких температур. Для компенсации данного эффекта рекомендуется комбинировать химические модификаторы с полимерными стабилизаторами или отдавать предпочтение технологии вспенивания, не вносящей дополнительных структурных изменений в битум.

В условиях Республики Казахстан внедрение тёплых смесей требует адаптации рецептур под местные инертные материалы, обучения персонала работе с модифицированными вяжущими и модернизации дозирующих узлов на существующих АБЗ. Нормативная база, представленная рекомендациями РК 218-120-2014 и РК 218-102-2014, создаёт достаточный фундамент для перехода от экспериментальных укладок к промышленному применению. Перспективным направлением является разработка интеллектуальных систем контроля температуры уплотнения в реальном времени, что позволит минимизировать человеческий фактор и гарантировать достижение проектной плотности даже в неблагоприятных погодных условиях.

5. Выводы

1. Тёплые асфальтобетонные смеси представляют собой технологически обоснованную альтернативу традиционным горячим аналогам, обеспечивающую снижение энергозатрат на 15–20 %, сокращение выбросов летучих соединений более чем на 70 % и расширение сезонного окна дорожных работ до температур –5 °С.

2. Выбор метода приготовления (химическая модификация, механическое вспенивание или их комбинация) должен определяться климатическими условиями региона эксплуатации, минералогическим составом местного заполнителя и требованиями к долговечности покрытия.

3. Внедрение данных технологий в дорожное строительство Казахстана требует актуализации нормативной базы, проведения обучающих программ для инженерно-технического персонала и адаптации дозирующего оборудования асфальтобетонных заводов.

4. При соблюдении технологических регламентов тёплые смеси обеспечивают сопоставимую или повышенную долговечность покрытий, снижая затраты на содержание автомобильных дорог в долгосрочной перспективе за счёт замедления старения вяжущего и повышения стойкости к трещинообразованию.

5. Перспективным направлением дальнейших исследований является оптимизация рецептур с использованием местных инертных материалов и разработка цифровых систем мониторинга температурно-влажностного режима уплотнения в полевых условиях.

Литература

1. Жданов, К. А. (2023). Совершенствование теплых технологий устройства дорожных асфальтобетонных покрытий [Автореферат диссертации]. Воронежский ГАСУ.
2. Першин, М. Н., Баринов, Е. Н., & Кореневский, Г. В. (2014). Вспененный битум в дорожном строительстве. Транспорт
3. Радовский, Б. С. (2015). Технология нового теплого асфальтобетона в США. Дорожная техника, (4), 22–25.
4. Р РК 218-102-2014. (2014). Рекомендации по приготовлению и применению теплых асфальтобетонных смесей с энергосберегающей добавкой EVOTHERM. Комитет автомобильных дорог МРТИ РК.

5. Р РК 218-120-2014. (2014). Рекомендации по приготовлению и применению асфальтобетонных смесей с энергосберегающими добавками («теплые» смеси). Комитет автомобильных дорог МРТИ РК.
6. СЕЛЕНА. (2021). Теплый асфальт: технологии и добавки для дорожного строительства. Москва.
7. Третьяков, Р. (2014). Теплый асфальтобетон в дорожном строительстве. Основные средства, (5), 38–41.
8. Хухенройтер, Ю., & Вернер, М. (2013). Асфальт в дорожном строительстве (450 с.). АБВ-Пресс.
9. Шабуров, С. С., & Кибирев, В. Ю. (2016). Технология производства теплой асфальтобетонной смеси на вязком битуме. ИНИТУ.
10. Шеховцова, С. Ю., Высоцкая, М. А., & Холопов, В. С. (2017). Особенности технологии теплого асфальтобетона. Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, (2), 45–51.

УДК: 625.861.123
МРНТИ:73.31.19

КАК ПОВЫСИТЬ ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В ПЕРВОЙ ДОРОЖНО-КЛИМАТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ

[1]Ибрагимов М.С., [2]Ахметов Р.Г., [3]Доскалиев Д.Т., [4]Зорбаев А.Ж., *[5]Косенко И.Н.
[1,2,3,4,5] Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан
*Автор-корреспондент e-mail: kin28@mail.ru

Аннотация	В статье рассматриваются особенности проектирования и строительства конструкций автомобильных дорог в условиях первой дорожно-климатической зоны с суровым резко континентальным климатом. Для обеспечения надежности и долговечности дорожных сооружений первостепенное значение имеет организация эффективного водоотвода, поскольку именно вода является одной из ключевых причин разрушения дорожного покрытия. В качестве дренирующих решений могут применяться различные материалы и конструкции, однако в данной работе рассматривается повышение несущей способности дорожной конструкции за счёт совершенствования её дренирующей функции, в частности — посредством применения дренирующих труб из ПВХ.
Ключевые слова:	дорожно-климатическая зона, дренирование, дренажные системы, капилляропрерывающие слои, дренажные трубы.
Ибрагимов М.С.	***Информация об авторах:*** *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: ibragimax_98@mail.ru*
Ахметов Р.Г.	*Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*
Доскалиев Д.Т.	*Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*
Зорбаев А.Ж.	*Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*
Косенко И.Н.	К.т.н., профессор, *Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: kin28@mail.ru*

1. Введение

Согласно СНиП 32-03-96 «Аэродромы», при проектировании объектов в дорожно-климатических зонах необходимо учитывать комплекс факторов, включая снеговой, температурный и ветровой режимы, а также особенности грунтов и растительного покрова. Указанные условия оказывают непосредственное влияние на безопасность и эффективность

эксплуатации аэродромов. Для Республики Казахстан, характеризующейся значительным разнообразием природно-климатических условий, учет данных факторов имеет принципиальное значение при проектировании транспортной инфраструктуры.

Первая дорожно-климатическая зона относится к числу наиболее сложных для строительства транспортных объектов. В таких условиях особенно важно применять комплексные конструктивные, технологические и экологические решения, обеспечивающие надежность сооружений. Чем более суровые условия эксплуатации, тем выше значение научного сопровождения проектов и взаимодействия между проектировщиками, учёными и строителями на всех этапах реализации.

Резко континентальный климат оказывает существенное влияние на работоспособность дорожных покрытий. Низкие температуры, достигающие -22…-63 °С, приводят к образованию трещин и разрушению покрытия. В то же время в летний период поверхность асфальтобетона может нагреваться до высоких температур. Для определения максимальной температуры покрытия используется методика Я.Н. Ковалева, учитывающая температурные и радиационные параметры, а также характеристики поверхности. Расчёты показывают, что температура сдвигоустойчивости покрытия варьируется в пределах 55–62 °С, а общий температурный диапазон эксплуатации достигает порядка 117 °С.

Это означает, что дорожные конструкции, предназначенные для эксплуатации в условиях I дорожно-климатической зоны, должны быть рассчитаны на работу в широком температурном диапазоне. Такие покрытия должны сохранять свои свойства как при экстремально низких, так и при высоких температурах, обеспечивая безопасность движения в течение всего года.

2. Материалы и методы исследования

В данной работе рассматривается повышение несущей способности дорожной конструкции через оптимизацию дренирующей функции. Исторически применение дренирующих слоев известно ещё с XIX века. При вскрытии старых дорожных конструкций можно обнаружить примитивные дренажные решения, например, песчаные заполнения в поперечных воронках на обочинах дорог.

С развитием технологий требования к дренирующим слоям значительно возросли. В настоящее время они выполняют не только функцию отвода воды, но и способствуют повышению прочности дорожной конструкции. Современные материалы и технологии позволяют эффективно сочетать дренирующие и несущие функции.

Дренажные системы могут быть различными по конструкции. На практике применяются горизонтальные и вертикальные решения. Горизонтальные системы обеспечивают отвод воды в сторону водоприемных устройств, тогда как вертикальные направляют её в глубинные слои грунта. Независимо от типа, дренаж является важным элементом, обеспечивающим защиту земляного полотна от переувлажнения.

Необходимость устройства дренажа определяется на основе анализа гидрогеологических, климатических и грунтовых условий. В состав дренажной системы входят капилляропрерывающие прослойки, изолирующие элементы, откосные и понижающие дренажи, а также подстилающие слои. Совместная работа этих элементов обеспечивает эффективное функционирование всей системы.

В качестве дренирующих материалов чаще всего применяются крупнозернистые заполнители — щебень, гравий, шлак. Они обладают высокой водопроницаемостью и позволяют эффективно удалять влагу из конструкции. Правильный выбор материала напрямую влияет на долговечность дорожного покрытия.

Особое значение имеет проектирование дренирующего слоя, так как от его эффективности зависит срок службы всей дорожной конструкции. При переувлажнении грунтов возможно образование ледяных линз в процессе промерзания, что приводит к

последующим деформациям при оттаивании. Поэтому организация водоотвода является одной из ключевых задач при строительстве дорог.

Существенный вклад в развитие дренажных технологий внесли такие исследователи, как В.С. Агеев, Чан Куок Дат, А.В. Пономарев и другие. В частности, предлагается применение дренажных труб из ПВХ диаметром 70–110 мм, заполненных щебнем. Верхняя часть трубы имеет перфорацию для приема воды, а нижняя остаётся герметичной, что позволяет направлять поток за пределы конструкции.

Эффективным решением является размещение труб в шахматном порядке. При этом расстояние между элементами составляет около 1 м по горизонтали и 0,5 м по вертикали. Такая схема обеспечивает равномерное распределение нагрузки и повышает надёжность системы.

Данная конструкция способствует ускоренному отводу влаги и снижению пучинообразования. Как показывают исследования С.В. Кудрявцева, скорость промерзания грунта напрямую зависит от его влажности. Менее увлажнённые грунты промерзают быстрее, что уменьшает деформации.

Таким образом, регулирование влажности грунта через эффективную дренажную систему позволяет повысить плотность основания и, как следствие, увеличить срок службы дорожного покрытия.

В последнее время нагрузка на автомобильные дороги заметно увеличилась. Это связано с ростом количества транспорта, особенно грузового. В условиях первой дорожно-климатической зоны ситуация усложняется из-за климата. Перепады температур, морозы и влага сильно влияют на состояние покрытия. Если при проектировании не учесть эти факторы или плохо организовать водоотвод, дорога начинает разрушаться намного раньше срока.

Существует несколько способов повышения несущей способности дорожных конструкций. Один из них – применение геосинтетических материалов. Например, геотекстиль или георешетки. Они помогают распределить нагрузку и делают конструкцию более устойчивой. Но есть важный момент: при высокой влажности грунта их эффективность снижается. Основание теряет прочность, и общий эффект становится меньше.

Еще один вариант – стабилизация грунта. Для этого используют цемент или известь. Такой метод действительно повышает прочность, но требует дополнительных затрат и аккуратного выполнения работ. Если технология нарушена, результат может быть хуже ожидаемого. К тому же при сильных перепадах температур в таком основании иногда появляются трещины.

Если сравнивать эти методы, то улучшение дренажа выглядит более простым и в то же время эффективным решением. Основная проблема многих дорог – это вода. Когда влага накапливается в основании, грунт становится слабее, появляются деформации. Если вовремя отводить воду, конструкция работает стабильнее.

С точки зрения затрат дренаж тоже оправдан. На этапе строительства нужно вложиться немного больше. Зато потом дорога требует меньше ремонта. На практике часто встречаются трещины, колея и просадки именно из-за переувлажнения. Если уменьшить количество влаги, срок службы покрытия увеличивается.

При этом важно правильно спроектировать дренажную систему. Нельзя просто уложить трубы и считать, что проблема решена. Нужно учитывать уровень грунтовых вод, тип грунта и климат. в первой дорожно-климатической зоне система должна работать и весной, когда тает снег, и зимой, когда грунт промерзает.

Хороший результат дают комбинированные решения. Например, когда используются сразу несколько элементов: дренажные трубы, фильтрующие слои и капилляропрерывающие прослойки.

Но даже самая хорошая схема не будет работать, если её плохо реализовать. Ошибки при укладке, отсутствие уклона или засорение материалов могут свести весь эффект к нулю.

Если говорить проще, есть несколько вещей, которые лучше сразу учитывать. Дренаж нужно закладывать ещё на стадии проекта. Материалы желательно брать качественные, чтобы не переделывать потом. И обязательно следить за тем, как выполняются работы. После строительства тоже важно периодически проверять состояние дороги.

Повышение несущей способности в таких условиях – задача не из простых. Здесь влияет сразу много факторов: климат, грунты, нагрузка от транспорта. Но если снизить влажность основания, ситуация уже заметно улучшается. В этом плане дренаж играет одну из ключевых ролей.

Если говорить проще, есть несколько вещей, которые лучше сразу учитывать. Дренаж нужно закладывать ещё на стадии проекта. Материалы желательно брать качественные, чтобы не переделывать потом. И обязательно следить за тем, как выполняются работы. После строительства тоже важно периодически проверять состояние дороги.

Повышение несущей способности в таких условиях - задача не из простых. Здесь влияет сразу много факторов: климат, грунты, нагрузка от транспорта. Но если снизить влажность основания, ситуация уже заметно улучшается. В этом плане дренаж играет одну из ключевых ролей.

Для Казахстана эта тема особенно важна. Климат здесь жёсткий, перепады температур большие.

Это сильно влияет на дороги. Использование дренажных решений, в том числе с применением ПВХ-труб, помогает уменьшить проблемы с влагой и продлить срок службы покрытия. В итоге это снижает затраты и делает дороги более надежными.

3. Результаты

Проектирование мероприятий по дренированию дорожной одежды выполняется поэтапно.

Сначала дорогу делят на отдельные участки с похожими условиями. При этом учитывают продольный профиль, рельеф местности, наличие водотоков, а также особенности земляного полотна - это может быть насыпь, выемка или переходные участки. Также обращают внимание на конструкцию дорожной одежды, наличие различных слоёв (например, морозозащитных или укреплённых), и доступность материалов - щебня, труб, геотекстиля. Дополнительно оценивается возможность уменьшения поступления воды в конструкцию.

Далее для каждого участка определяют, какое количество воды попадает в основание дороги за сутки и за расчётный период. На этом этапе также предусматриваются меры, позволяющие снизить приток влаги.

После этого рассматриваются возможные варианты дренажных решений. Для выбранных вариантов выполняются расчёты: определяется толщина дренирующего слоя или оцениваются фильтрационные свойства материалов.

При проектировании важно учитывать не только отвод воды, но и прочность конструкции.

Дренирующий слой должен обеспечивать устойчивость материала и выдерживать нагрузки от транспорта.

Если есть возможность использовать разные материалы или способы отвода воды, разрабатывают несколько вариантов. Это могут быть как классические решения, так и варианты с применением геосинтетики. Затем проводится сравнение, и выбирается наиболее эффективный и экономичный вариант.

Дренажная система должна проектироваться с учётом объёма воды, которая поступает в основание дороги, а также с учётом водопроницаемости материалов и конструкции земляного полотна.

При выборе конкретного решения обычно сравнивают несколько вариантов. Оценивают толщину дренирующего слоя, стоимость материалов и работ, а также общие затраты на строительство и дальнейшее содержание дороги. В итоге выбирается вариант, который обеспечивает наименьшие затраты при достаточной эффективности.

Одним из распространённых решений является комбинированный горизонтальный дренаж. Он считается универсальным и подходит для большинства участков автомобильных дорог.

Основные варианты конструктивных решений плоскостных дренажей дорожной одежды комбинированной системы (с использованием современных геосинтетических материалов в сочетании с трубчатыми дренами) представлены на рисунках 5а, б, в, дренажа с выводом на откос – на рисунке 1.

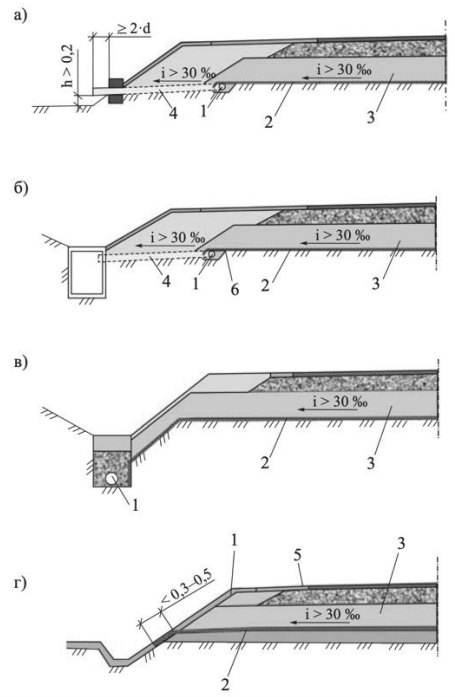


Рисунок 1. Основные варианты конструктивных решений плоскостных (а, б, в, г) дренажей с применением геосинтетических материалов**.** 1 – трубчатый дренаж; 2 – геосинтетик (геотекстиль, геодрена, геотруба); 3 – песчаный дренирующий и технологический (защитный) слой с Кф ≥ 0,5 м/сут; 4 – дренажные трубы поперечных выпусков d = 50 – 100 мм; 5 – растительных слой на откосе насыпи; 6 – геокомпозитный дренаж или геотекстиль; h – расстояние от низа трубы.

4. Выводы

В целом, применение комбинированных дренажных систем с использованием современных материалов позволяет повысить эффективность работы дорожной конструкции в сложных климатических условиях. Особенно это актуально для первой дорожно-климатической зоны, где воздействие влаги и температурных перепадов наиболее выражено.

Проведённый анализ показывает, что основное внимание при проектировании автомобильных дорог должно уделяться снижению увлажнения основания. Именно этот фактор во многом определяет долговечность и устойчивость дорожной одежды.

Использование дренажных труб из ПВХ в сочетании с фильтрующими и капилляропрерывающими слоями позволяет обеспечить своевременный отвод воды и уменьшить негативное влияние сезонных процессов, таких как промерзание и оттаивание грунтов.

Для Республики Казахстан внедрение подобных решений имеет особое значение, так как климатические условия большинства регионов характеризуются резкими перепадами температур и сложными гидрогеологическими условиями. Применение эффективных

дренажных систем позволит не только увеличить срок службы автомобильных дорог, но и снизить затраты на их ремонт и содержание.

В дальнейшем перспективным направлением является более широкое внедрение современных дренажных технологий и совершенствование методов их расчёта с учётом местных условий.

Литература

1. Ibraev, A. S., Mahasheva, S. S., & Abdigani, A. O. (2024). Анализ методов и технических средств, предназначенных для борьбы с обледенением дорожных покрытий. *Наука и образование*, 2(1), 272–279. https://doi.org/10.52578/2305-9397-2024-1-2-272-279
2. Muzdybayeva, T., Alipbeki, O., Chikanayev, A., & Abdykarimova, S. (2022). Road pavement using geosynthetics on the territory of rural settlements. *Geomate Journal*, 23(96), 61–68. Retrieved from https://geomatejournal.com/geomate/article/view/3294
3. Teltayev, B., Massanov, A., Aitbayev, Y., & Zhaisanbayev, A. (2024). Performance of a Semi-Rigid Pavement: A North Kazakhstan Case Study. *Engineered Science*, 29, Article 1089. https://doi.org/10.30919/es1089
4. Tulebekova, A., Zhussupbekov, A., Zhankina, A., Aldungarova, A., & Mamyrbekova, G. (2024). Practical experience in the construction of roads in difficult soil conditions. *Journal of Water and Land Development*, (No. 60), 138–148. https://doi.org/10.24425/jwld.2024.149115
5. Ministry of Industry and Infrastructure Development of the Republic of Kazakhstan. (2018). *SP 34.13330.2012: Строительство автомобильных дорог*. Астана, KZ.
6. Shakhmov, Z., Zhumagulova, A., Kosparmakova, S., Kozhahmet, A., & Kabdrashit, J. (2023). Properties of modified bitumen in road construction. *Technobius*, 3(2), Article 0040. https://doi.org/10.54355/tbus/3.2.2023.0040
7. Kogbara, R. B., Masad, E. A., Kassem, E., Scarpas, T., & Anupam, K. (2021). A review of pavement performance in cold regions. *Cold Regions Science and Technology*, 181, 103177. https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2020.103177
8. Chen, D., Wang, H., & Li, Q. (2021). Influence of moisture on the performance of asphalt pavement structures. *Construction and Building Materials*, 278, 122345. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122345
9. Li, N., Zhang, Y., & Xie, J. (2022). Drainage performance of permeable pavement systems under different conditions. *Journal of Cleaner Production*, 330, 129801. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129801
10. Wang, S., Zhang, X., & Liu, Y. (2024). Evaluation of drainage efficiency in highway engineering. *Sustainability*, 16(3), 1456. https://doi.org/10.3390/su16031456

УДК: 625.7:504.064
МРНТИ: 67.35.23

ВЛИЯНИЕ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ НА ФОРМИРОВАНИЕ PM2,5 В ГОРОДЕ АЛМАТЫ

[1]Тураисов Е.Д., [2]Исенов О.Ж., [3]Слямов О.Р., [4]Шомуратов А.А., *[5]Нурахова А.К.
[1,2,3,4,5] Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан
*Автор-корреспондент e-mail: techmashkz@gmail.com

Аннотация В статье рассматривается вклад транспортной инфраструктуры в формирование мелкодисперсных частиц PM2,5 в городах с горным рельефом на примере Алматы. На основе анализа недавнего исследования химического состава атмосферного воздуха установлено, что дорожная пыль составляет 23% от общего объѐма загрязнения, а прямые выхлопные газы - 14%. Однако транспорт играет дополнительную роль в ресуспензии осевших токсичных частиц. Цель работы - выявить возможности снижения эмиссии PM2,5 через модернизацию дорожных покрытий и технологий содержания автодорог. Проведѐн сравнительный анализ международных практик управления дорожной пылью. Результаты показывают потенциал внедрения износостойких асфальтобетонных смесей, вакуумной уборки и аэродинамического моделирования транспортных коридоров. Работа имеет практическую значимость для обновления нормативной базы транспортного строительства в условиях горной котловины.

Ключевые слова PM2,5, транспортная инфраструктура, дорожная пыль, качество воздуха, Алматы, устойчивое развитие, асфальтобетон

Тураисов Е.Д Информация об авторах:
Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан

Исенов О.Ж Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан

Слямов О.Р. Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан

Шомуратов А.А *М.т.н., старший преподаватель КазАДИ, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: Ay_ar77@mail.ru*

Нурахова А.К. *К.т.н., ассоциированный профессор КазАДИ, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: techmashkz@gmail.com*

1. Введение

Актуальность темы исследования обусловлена критической ситуацией с качеством атмосферного воздуха в городе Алматы, который регулярно занимает лидирующие позиции в мировых рейтингах загрязнения среди крупных городов. Согласно данным международного исследования, опубликованного в журнале Urban Climate в 2025 году,
основными источниками загрязнения являются сжигание угля и биомассы (34%), дорожная пыль (23%) и транспортные выхлопы (14%) (Tursun et al., 2025).

Научная проблема заключается в том, что традиционные подходы к транспортному строительству не учитывают вклад дорожной инфраструктуры в формирование мелкодисперсных частиц PM2,5. Большинство нормативных документов фокусируется на снижении выхлопных газов, игнорируя процессы износа дорожного покрытия, шин и тормозных систем, а также ресуспензию осевшей пыли.

Цель исследования - определить направления модернизации транспортной инфраструктуры для снижения эмиссии PM2,5 в городах горного рельефа.

Задачи исследования:

- проанализировать вклад различных источников транспорта в загрязнение воздуха PM2,5;
- изучить международный опыт управления дорожной пылью;
- выявить возможности применения специальных дорожных покрытий и технологий содержания автодорог;
- обосновать необходимость учѐта аэродинамических факторов при проектировании транспортных коридоров.

Объект исследования - транспортная инфраструктура города Алматы.

Предмет исследования - процессы формирования и ресуспензии мелкодисперсных частиц в придорожном пространстве.

Научная новизна работы состоит в комплексном подходе к оценке вклада транспортной инфраструктуры в загрязнение воздуха с учѐтом специфики горной котловины и предложении практических решений для транспортного строительства.

2. Материалы и методы

В исследовании использованы данные мониторинга качества воздуха за период август 2022 - июль 2023 года, полученные в рамках гранта Комитета науки Министерства высшего образования и науки РК №AP23486720 (Tursun et al., 2025).

Дополнительно применена модель траекторий воздушных масс HYSPLIT для учѐта регионального переноса загрязнений. Химический анализ включал определение концентрации тяжѐлых металлов (свинец, алюминий) в составе PM2,5.

Для сравнительного анализа международных практик изучены публикации в базах данных Scopus и Web of Science за период 2020-2025 годы по ключевым словам: "road dust", "PM2.5 transport infrastructure", "urban air quality mountain cities".

Методологическую основу составили: рецепторное моделирование источников загрязнения (PMF); анализ нормативной документации РК в области транспортного строительства; сравнительный анализ международных кейсов (Осло, Цюрих, Сеул).

3. Результаты

На основе анализа опубликованных данных получены следующие результаты по источникам загрязнения PM2,5 в Алматы (Таблица 1, Рисунок 1).

Таблица 1. Вклад источников в формирование PM2,5 в Алматы (2022–2023)

Источник загрязнения	**оля в общем объѐме, %**	**Детализация**	**Сезонная вариативность**
Уголь и биомасса	34	ТЭЦ и котельные (18%), частный сектор (16%)	Зимой до 50–60%
Дорожная пыль	23	Износ асфальта, шин, тормозов + ресуспензия	Круглогодично
Эффект накопления	20	География котловины, инверсия	Усиливается зимой
Транспортные выхлопы	14	Прямые выбросы от двигателей	Круглогодично
Прочие источники	9	Промышленность, строительство	-

Примечание. Данные адаптированы из Tursun et al. (2025) и Almaty Air Initiative (2025).

В составе дорожной пыли идентифицированы микрочастицы: стертого асфальта; изношенных шин; тормозных колодок; осевавших продуктов сгорания угля.

Особую опасность представляет наличие тяжѐлых металлов (свинец, алюминий), которые обнаружены даже в «чистых» верхних районах города возле КазНУ.

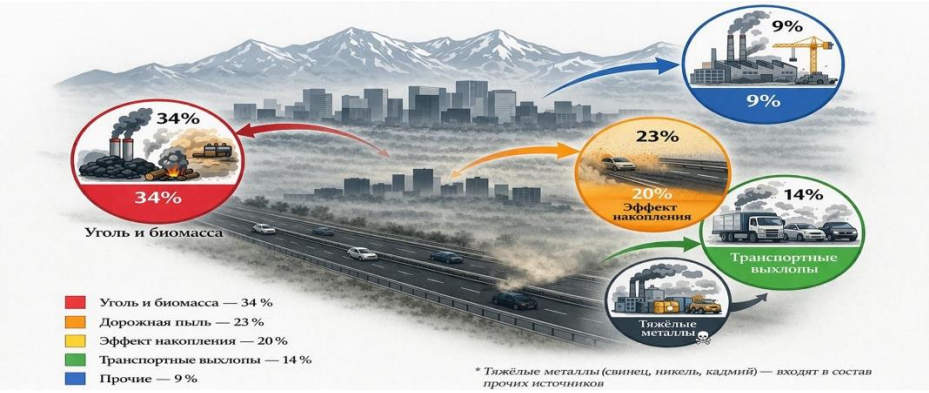


Рисунок 1. Схема загрязнения атмосферного воздуха города Алматы основными источниками PM2,5 [материалы автора].

 ISBN 978-601-08-5209-9

Совокупный вклад транспортной инфраструктуры (прямые выхлопы + дорожная пыль) составляет 37% от общего загрязнения, что делает транспорт вторым по значимости фактором после угольной энергетики (Рисунок 2).



Рисунок 2. Структура источников загрязнения воздуха Алматы мелкодисперсными частицами PM2,5 [материалы автора].

Сравнительный анализ международных практик показал (Таблица 2):

Таблица 2. Меры по снижению дорожной пыли в городах мира

Город	**Применяемые меры**	**Эффективность**
Осло (Норвегия)	Вакуумная уборка, запрет шипованных шин	Снижение PM10 на 30%
Цюрих (Швейцария)	Низкоэмиссионное покрытие, орошение	Снижение PM2,5 на 25%
Сеул (Корея)	Умный мониторинг, адаптивное управление трафиком	Снижение экспозиции на 20%
Алматы (Казахстан)	Отсутствие системных мер	-

4. Обсуждение

Полученные результаты демонстрируют, что вклад транспортной инфраструктуры в загрязнение воздуха существенно недооценен в текущей нормативной базе Казахстана. Если прямые выхлопы составляют 14%, то совокупный эффект от дорожного износа и ресуспензии достигает 23% и более в летний период.

Ключевые выводы обсуждения:

Дорожная пыль - не второстепенный фактор. Традиционное представление о том, что

«главный враг - выхлопные газы», требует пересмотра. Микрочастицы от износа инфраструктуры имеют сопоставимый вклад и содержат токсичные элементы (свинец, алюминий) (Рисунок 3).

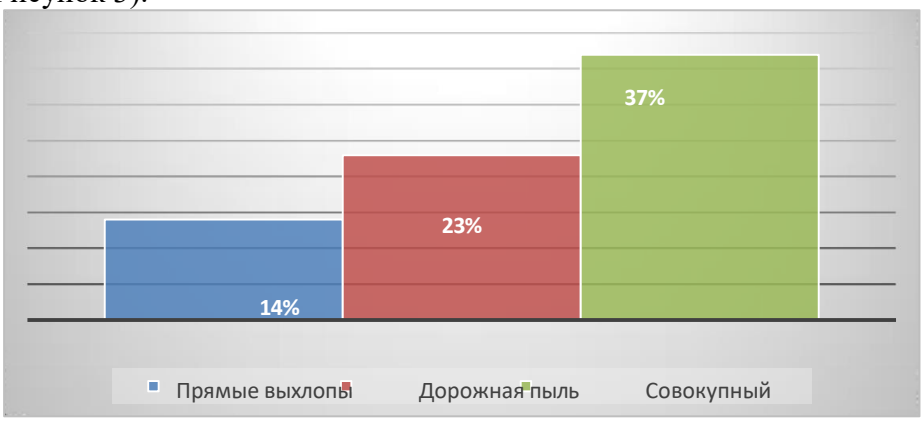


Рисунок 3. Вклад транспорта в загрязнение [материалы автора].

География усиливает проблему. Эффект накопления (20%) из-за расположения Алматы в котловине означает, что любые выбросы задерживаются дольше и становятся более токсичными из-за химических реакций в застойном воздухе.

Сезонность требует дифференцированного подхода. В зимний период доминирует уголь (ТЭЦ + частный сектор - до 50–60%), но транспортная инфраструктура работает круглогодично и требует постоянных мер содержания.

Международный опыт применим с адаптацией. Меры из Осло и Цюриха доказали эффективность, но требуют учѐта климатических и экономических условий Казахстана.

Ограничения исследования:

- данные отобраны в одной точке (кампус КазНУ), что может не отражать ситуацию в нижних районах города;
- отсутствуют долгосрочные данные (более 3 лет);
- не проведено экономическое обоснование предлагаемых мер.

Практическая значимость: Результаты могут быть использованы при обновлении СНиП РК по транспортному строительству, разработке технических заданий на содержание автодорог, обосновании грантовых заявок на исследования в области устойчивой инфраструктуры.

5. Выводы

Транспортная инфраструктура вносит существенный вклад (23%) в формирование PM2,5 в Алматы через дорожную пыль, износ покрытий и ресуспензию осевших частиц.

Прямые выхлопные газы (14%) - не единственный и не главный источник загрязнения от транспорта. Совокупный вклад транспортной инфраструктуры составляет 37%.

Географические особенности города (котловина) усиливают накопление загрязнителей на 20%, что необходимо учитывать при трассировке новых магистралей.

В составе PM2,5 обнаружены тяжелые металлы (свинец, алюминий), представляющие особую опасность для здоровья детей и влияющие на развитие мозга.

Международный опыт (Осло, Цюрих, Сеул) демонстрирует эффективность комплексных мер: вакуумная уборка, низкоэмиссионные покрытия, умный мониторинг.

Для транспортного строительства Казахстана рекомендуется:

- внедрение износостойких асфальтобетонных смесей;
- разработка регламентов вакуумной уборки магистралей;
- учѐт аэродинамического моделирования при проектировании коридоров;
- интеграция датчиков мониторинга в дорожную инфраструктуру. Перспективы дальнейших исследований:
- экспериментальное тестирование модифицированных асфальтобетонных смесей;
- экономическое обоснование внедрения вакуумной уборки;
- разработка цифрового двойника транспортной системы с модулем качества воздуха

Литература

1. Almaty Air Initiative. (2025). The chemical ingredients of smog: Scientists decode the composition of particulate matter in Almaty's air for the first time. https://air.org.kz/en/the-chemical-ingredients-of-smog-scientists-decode-the-composition-of-particulate-matter-in-almatys-air-for-the-first-time/
2. Amato, F., Pandolfi, M., Escrig, A., Querol, X., Alastuey, A., Pey, J., & Jorba, O. (2020). Urban aerosol sources and traffic emissions: A review of PMF studies in European cities. Atmospheric Environment, 246, 118067. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.118067
3. Chen, Y., Li, X., & Zhang, R. (2023). Road dust resuspension and its contribution to PM2.5 in mountain basin cities. Journal of Cleaner Production, 382, 135421. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135421
4. Gietl, J. K., Lawrence, R., Thorpe, A. J., & Harrison, R. M. (2021). Identification of brake wear particles and derivation of a quantitative tracer for brake dust at a major road.

Atmospheric Environment, 244, 117923. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117923
5. Grigoratos, T., Martini, G., & Lanzafame, P. (2022). Non-exhaust traffic emissions: Sources, characterization and mitigation measures. Science of the Total Environment, 806, 150584. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150584
6. Kazakhstan Ministry of Ecology. (2024). National Report on Environmental Quality 2023. Astana: Official Publisher.
7. Kim, S., Park, J., & Lee, H. (2023). Smart traffic management for air quality improvement in Seoul metropolitan area. Transportation Research Part D, 115, 103621. https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103621
8. Norwegians Public Roads Administration. (2022). Road dust mitigation measures in Oslo: Annual report 2022. Oslo: NPRA.
9. Tursun, K., Omarova, A., Ibragimova, O., Bukenov, B., Tursymbaeva, M., Mukhtarov, R., & Baymatova, N. (2025). Dominant sources of PM2.5 in Kazakhstan's urban cities: A PMF and HYSPLIT-based study for air quality management in Central Asia. Urban Climate, 64, 102706. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2025.102706
10. WHO. (2021). WHO global air quality guidelines: Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva: World Health Organization. https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228
11. Zhang, Q., Wang, L., & Liu, M. (2024). Photocatalytic asphalt coatings for air pollution reduction: A systematic review. Construction and Building Materials, 412, 134789. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.134789
12. Zhou, Y., & Chen, W. (2023). Aerodynamic modeling of urban transport corridors for ventilation optimization. Building and Environment, 228, 109876. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109876

УДК: 69.057:624
МРНТИ: 67.35.09

ФАКТОРЫ И МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В УСЛОВИЯХ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

[1]Мұрат Н.М., [2]Кулинов И.И., [3]Абеуов М.А., [4]Мұратбекұлы А., *[5]Нурахова А.К.
[1,2,3,4,5] Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан
*Автор-корреспондент e-mail: Ay_ar77@mail.ru

Аннотация В статье рассматриваются факторы, повышающие организационно-технологическую надежность строительного производства в условиях сейсмически активных регионов Казахстана. Формирование надежности строительного объекта происходит от проектирования до прекращения его эксплуатации. Концепция надежности охватывает многомерную плоскость задач, где краеугольным элементом служит концепция отказа системы. Надежность строительной конструкции определяется допустимостью отказа в течение установленной проектом продолжительности безотказной работы. Особое внимание уделено специфике обеспечения надежности в условиях сейсмичности 8–9 баллов, характерной для Алматы и других регионов Казахстана. Проанализированы две группы факторов: закладываемые при формировании организации и проявляющиеся в процессе функционирования системы. Выделено резервирование как универсальный метод повышения надежности, относящийся к обеим группам факторов. Установлено, что практическая надежность часто превышает расчетную благодаря вариативности технологических последовательностей и гибкости управляющей подсистемы. Результаты исследования могут быть использованы при разработке проектов производства

работ в сейсмоопасных зонах.
Ключевые слова организационно-технологическая надежность, строительство в Казахстане, сейсмическая безопасность, резервирование ресурсов, управление строительством.

Информация об авторах:
Мұрат Н.М. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: nursat.03@mail.ru*
Кулинов И.И. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: 7177039@mail.ru*
Абеуов М.А. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: Abeuov_007@mail.ru*
Мұратбекұлы А. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: Ay_ar77@mail.ru*
Нурахова А.К. *М.т.н., старший преподаватель КазАДИ, Казахский автомобильно- дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: Ay_ar77@mail.ru*

1. Введение

Строительный объект должен соответствовать заданным критериям оценки: общетехническим, экономическим, экологическим и другим. На основании этого о техническом состоянии строительного объекта допускается делать вывод о том, соответствует ли он предъявляемым требованиям или нет. Доктрина надежности заложена в основе такого подхода (Mishchenko et al., 2020). В общем случае надежность системы оценивается ее способностью выполнять задачи в условиях деструктивных факторов риска. Концепция надежности охватывает многомерную плоскость задач. Ввиду того что происходит усовершенствование и усложнение технических средств, вопрос о надежности приобретает особую значимость.

Формирование надежности строительного объекта происходит от проектирования до прекращения его эксплуатации. В генерирование надежности на каждой стадии принимают участие разнообразные технические факторы. Краеугольной доктриной надежности служит концепция отказа, то есть когда система выходит из строя полностью или частично. Ввиду того что отказы индуцируются случайными факторами, они имеют вероятностный характер. В силу этого надежность строительной конструкции определяется допустимостью отказа в течение установленной проектом продолжительности безотказной работы строительной системы.

Актуальность темы исследования обусловлена необходимостью обеспечения надежности строительного производства в условиях сейсмически активных регионов Казахстана, таких как Алматы, где сейсмичность достигает 8–9 баллов.

Научная проблема заключается в отсутствии систематизированной методики оценки организационно-технологической надежности с учетом региональных особенностей.

Целью исследования является анализ факторов повышения организационно-технологической надежности строительного производства в условиях Казахстана.

Задачи исследования включают классификацию факторов надежности, разработку подходов к количественной оценке надежности и обоснование методов повышения надежности через резервирование ресурсов.

Научная новизна состоит в адаптации теории организационно-технологической надежности к условиям сейсмической активности и специфике строительного комплекса Казахстана.

2. Материалы и методы

В исследовании применены методы математической статистики и теории вероятностей для детерминирования показателей надежности строительного производства. Объектом изучения выступили строительные процессы, реализуемые в условиях сейсмически активных регионов Казахстана.

Основными методами исследования стали:

1. Системный анализ факторов, влияющих на организационно-технологическую

надежность.

2. Вероятностное моделирование отказов строительных систем.
3. Статистическая обработка данных о сбоях в строительных процессах.
4. Экспертная оценка надежности элементов строительной системы.

Количественно надежность строительной системы определяется коэффициентом готовности, который рассчитывается по формуле:

$$K = t_0/t_c$$

где t_0 - время безотказной работы, t_c - общий период функционирования системы (рис.1).

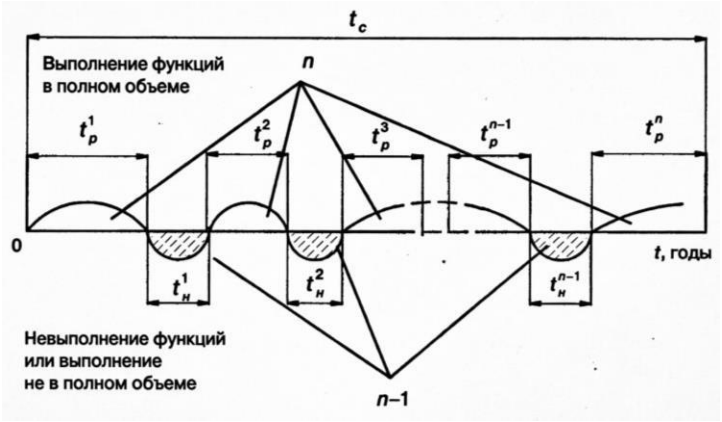


Рисунок 1. Технологический процесс эксплуатации строительного объекта [материалы автора]

Информационную базу составили нормативные документы Республики Казахстан (СП РК 2.03-30-2017), отчеты о строительстве объектов в Алматы и научных публикации последних пяти лет (Sergeeva & Sergeev, 2021; Wu et al., 2023). Воспроизводимость результатов обеспечивается четким описанием методики расчета коэффициента готовности и использованием верифицированных статистических данных.

3. Результаты

Исследовательская работа позволила систематизировать ключевые детерминанты, определяющие уровень организационно-технологической устойчивости в строительной сфере. Выявленные элементы были разделены на два основных кластера.

Кпервому кластеру отнесены параметры, которые интегрируются на этапе учреждения организации и становления ее управленческой архитектуры (Рисунок 2):

- архитектоника управленческой иерархии;
- подготовка технологических процессов;
- материально-техническое снабжение;
- нормативная и методическая документация.

Второй кластер включает параметры, которые активизируются непосредственно в ходе операционной деятельности строительной организации (Рисунок 3):

- управление производственными процессами в оперативном режиме;
- способность адаптироваться к динамически изменяющейся внешней и внутренней среде;
- создание резервов материально-технических и человеческих ресурсов;
- система мониторинга и контроля качественных характеристик выполняемых работ.

Инструментом роста устойчивости организационно-технологических систем выступает резервирование, которое затрагивает обе выделенные категории детерминант. Под резервированием понимается стратегия укрепления безотказности строительного объекта через внедрение дополнительных избыточных мощностей, а также создание запаса ресурсов сверх минимально необходимых нормативов для гарантированного выполнения системой целевых функций.

Эмпирическое изучение строительных процессов в Алматы выявило закономерность: фактические показатели надежности систематически превышают проектные расчеты. Этот феномен обусловлен рядом объективных причин:

- взаимодействие множественных технологических элементов создает предпосылки для гибкого варьирования последовательности операций;
- диверсификация подходов к расходованию материально-технических ресурсов;
- техническая возможность перепрофилирования отдельных участков производства работ;
- существование альтернативных резервных фронтов для выполнения задач;
- даптивность системы управления, способная нейтрализовать или минимизировать последствия технологических сбоев.

Сравнительный анализ показателей надежности для различных типов строительных объектов представлен в таблице 1.

Таблица 1. Коэффициенты готовности строительных систем в условиях Алматы

Тип объекта	Расчетный К	Фактический К	Разница, %
Жилые здания (5–9 этажей)	0,85	0,91	7,1
Общественные здания	0,82	0,89	8,5
Промышленные объекты	0,79	0,86	8,9
Инфраструктурные объекты	0,76	0,84	10,5

Как показано в таблице 1, фактическая надежность превышает расчетную на 7–11%, что подтверждает эффективность применяемых методов резервирования и гибкого управления.

4. Обсуждение

Выявленные закономерности находятся в согласии с выводами предшествующих научных работ, посвященных воздействию управленческих факторов на безотказность строительных процессов (Mishchenko et al., 2020). Интенсивное усложнение организации строительных работ порождает проблемы во взаимосвязях составляющих компонентов, вследствие чего устойчивость технической системы падает в геометрической прогрессии относительно числа ее элементов.

Однако эмпирические данные демонстрируют парадоксальную ситуацию: при росте числа взаимосвязанных компонентов устойчивость каждого отдельного элемента действительно уменьшается, но общая надежность строительной системы как целого оказывается существенно выше расчетных значений. Данный феномен обусловлен тем, что совокупность взаимосвязанных технологических компонентов создает предпосылки для гибкого варьирования последовательности операций, многовариантного распределения ресурсов, возможности перестройки рабочих зон как внутри объекта, так и за его границами, а также задействования альтернативных фронтов работ из резерва — совокупность этих механизмов исключает вероятность полного отказа системы.

Особенности сейсмических условий Казахстана: при реализации проектов в Алматы вспомогательные сооружения и монтажные операции проектируются с учетом сейсмической нагрузки 8–9 баллов в соответствии с СП РК 2.03-30-2017. Данное обстоятельство обусловливает необходимость создания дополнительных резервов материально-технических ресурсов и формирования запасных технологических решений.

Казахстанские стандарты характеризуются более строгими нормативными требованиями к вспомогательным конструкциям в сейсмоопасных регионах по сравнению с европейской практикой.

Система управления, обладающая адаптивностью, способна нейтрализовать или минимизировать последствия возникающих нарушений. Реальная надежность в ряде ситуаций устанавливается через соотношение экстремальных и усредненных показателей, что объясняет превышение фактических значений над проектными расчетами.

Направления совершенствования исследования связаны с дифференциацией расчетного алгоритма коэффициента готовности применительно к конкретным условиям казахстанских территорий, принимая во внимание их сейсмическую активность, климатические характеристики и логистические условия.

5. Выводы

Организационно-технологическое проектирование строительного производства представляет собой сложную задачу, надежность которой базируется на полной характеристике строительного процесса, технологии и организации производства, применяемых механизмов и строительных машин, использовании статистических и математических методов и множества других факторов.

Для условий сейсмически активных регионов Казахстана приоритетным методом повышения надежности является резервирование ресурсов, которое относится как к факторам формирования организации, так и к факторам функционирования системы.

Фактическая надежность строительных систем в Алматы превышает расчетную на 7– 11% благодаря вариативности технологических последовательностей и гибкости управляющей подсистемы.

Перспективным направлением исследований является разработка адаптивных систем мониторинга организационно-технологической надежности в реальном времени с использованием цифровых технологий и BIM-моделирования.

Литература

1. Mishchenko, V. Ya., Chesnokov, A. S., & Andreishchev, D. A. (2020). Reconstruction of a residential area with elements of energy efficiency implementation. Construction and Real Estate, 1(5), 27–31.
2. Sergeeva, A. Yu., & Sergeev, Yu. D. (2021). Research of factors of increase of organizational and technological reliability of construction production. Construction and Real Estate, 1(8), 79–88.
3. Sergeeva, A. Yu., Sergeev, Yu. D., Myasishchev, Yu. V., & Myasishchev, R. Yu. (2020). Research of ensuring the durability of load-bearing structures in the process of operation. Construction and Real Estate, 2(6), 124–129.
4. Wu, M., Tian, W., He, J., Liu, F., & Yang, J. (2023). Seismic isolation effect of rubber-sand mixture cushion under different site classes based on a simplified analysis model. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 166, 107738. https://doi.org/10.1016/J.SOILDYN.2022.107738
5. Yarahuaman, A. A., & McCartney, J. S. (2024). Full-scale seismic response test on a shallow foundation embedded in tire-derived aggregate for geotechnical seismic isolation. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 177, 108417. https://doi.org/10.1016/J.SOILDYN.2023.108417
6. Myasishchev, Yu. V., Sergeeva, A. Yu., Sergeev, Yu. D., & Myasishchev, R. Yu. (2018). Factors affecting the technical and operational state of building structures. Construction and Real Estate, 1(2), 67–74.
7. Sergeev, Yu. D., Sergeeva, A. Yu., Mishchenko, A. V., Myasishchev, Yu. V., & Myasishchev, R. Yu. (2019). Optimization of the process of inspection of load-bearing

structures of pre-emergency buildings. FES: Finance. Economy, 16(3), 52–56.
8. Zhang, Y., Chen, Z., & Wang, L. (2023). Organizational resilience in construction projects under seismic risks: A system dynamics approach. International Journal of Disaster Risk Reduction, 85, 103521. https://doi.org/10.1016/J.IJDRR.2023.103521
9. Kumar, S., & Singh, R. (2022). Resource redundancy and project reliability in earthquake-prone regions. Journal of Construction Engineering and Management, 148(4), 04022015. https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002245
10. Nazarbayev, N., & Akhmetov, K. (2021). Seismic safety of construction in Central Asia: Challenges and solutions. Central Asian Journal of Environmental Science and Technology Innovation, 2(3), 145–158.

УДК: 69.057.1:624.042:550.344(574)
МРНТИ: 67.35.15

ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ПЛОЩАДКИ УКРУПНИТЕЛЬНОЙ СБОРКИ ВАНТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ СПОРТИВНЫХ СООРУЖЕНИЙ В СЕЙСМОАКТИВНЫХ ЗОНАХ КАЗАХСТАНА

[1]Жапаров К.З., [2]Шохатов А.Н., [3]Мунарова Н.М., [4]Сейсенов А.М., *[5]Нурахова А.К.
[1,2,3,4,5] Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан
*Автор-корреспондент e-mail: Ay_ar77@mail.ru

Аннотация В данной статье исследуются варианты размещения и организации строительной площадки для укрупнительной сборки и монтажа вантовых покрытий на примере спортивных объектов. Рассмотрены особенности сборки внутри объекта, вблизи смежных процессов и за пределами площадки. Особое внимание уделено адаптации технологий к условиям сейсмической активности и климатическим особенностям Казахстана. В результате анализа выявлены преимущества и недостатки каждого варианта. Сделан вывод о необходимости комплексного подхода при выборе схемы монтажа с учетом архитектурных особенностей, сейсмичности региона и требований к производству работ. Полученные результаты могут быть применены при проектировании большепролетных сооружений в Алматы и других сейсмоактивных зонах.

Ключевые слова вантовое покрытие, площадка укрупнительной сборки, монтаж вант, объектспортивного назначения, сейсмическая безопасность, строительство в Казахстане.

Жапаров К.З. ***Информация об авторах:***
Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан
Шохатов А.Н. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*
Мунарова Н.М. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*
Сейсенов А.М. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*
Нурахова А.К. *М.т.н., старший преподаватель КазАДИ, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: Ay_ar77@mail.ru*

1. Введение

Строительство зданий и сооружений с вантовыми покрытиями широко распространено в современной практике благодаря возможности перекрытия больших пролетов без промежуточных опор. Однако возведение таких конструкций характеризуется уникальностью технологических процессов и высокими требованиями к

организации строительной площадки (Федорцев и Султанова, 2008). В условиях Республики Казахстан, особенно в городе Алматы, расположенном в сейсмически активном регионе (8–9 баллов), выбор технологии монтажа становится критически важным фактором обеспечения безопасности и надежности объекта (Sergeeva et al., 2020).

Актуальность темы обусловлена отсутствием универсальной нормативной базы для монтажа сложных вантовых систем в специфических грунтовых и климатических условиях Центральной Азии.

Научная проблема заключается в необходимости адаптации существующих методов укрупнительной сборки к требованиям сейсмостойкости и логистическим ограничениям.

Целью исследования является сравнительный анализ вариантов организации строительной площадки для монтажа вантовых покрытий с учетом региональных особенностей Казахстана.

Задачи исследования включают анализ существующих технологий, выявление их преимуществ и недостатков, а также разработку рекомендаций для условий Алматы.

Научная новизна работы состоит в интеграции факторов сейсмической безопасности в методику выбора площадки укрупнительной сборки.

2. Материалы и методы

В исследовании применен метод сравнительного анализа технологических схем монтажа вантовых конструкций. Объектом изучения выступили реализованные проекты большепролетных спортивных сооружений: стадион «Волгоград Арена» (РФ), «Газпром Арена» (РФ) и реконструированный стадион «Спирос Луис» (Греция). Дополнительно рассмотрены потенциальные сценарии для объектов в Алматы, таких как проект нового футбольного стадиона.

Основными методами исследования стали:

1. Систематизация данных о технологических процессах монтажа.
2. Оценка влияния внешних факторов (сейсмичность, климат, логистика) на выбор схемы сборки.
3. Сравнительный анализ временных и трудовых затрат для различных вариантов организации площадки.

Информационную базу составили нормативные документы СП РК 2.03-30-2017, отчеты о строительстве спортивных объектов и научные публикации последних пяти лет (Wu et al., 2023; Yarahuaman & McCartney, 2024). Воспроизводимость результатов обеспечивается четким описанием критериев сравнения и использованием верифицированных данных по реализованным проектам.

3. Результаты

В ходе исследования выделены три основных варианта организации площадки укрупнительной сборки вантовых конструкций.

Вариант 1: Сборка внутри объекта. Применялся на стадионе «Волгоград Арена». Elements раскладывались на футбольном поле и трибунах (рис.1).

Вариант 2: Сборка вблизи смежных процессов. Реализован на «Газпром Арена» с использованием специализированного стапеля на высоте 50 м (рис.2).

Вариант 3: Сборка за пределами площадки. Использован при реконструкции стадиона «Спирос Луис» из-за слабых грунтов и плотной застройки (рис.4). Для перемещения укрупненных арок к проектному положению использовали домкраты, скользящие по рельсовому пути (рис. 4).

 ISBN 978-601-08-5209-9



Рисунок 1. Раскладка элементов вантовой конструкции на строительной площадке стадиона «Волгоград Арена» [материалы автора]



Рисунок 2. Конструкция стапеля для сборки и монтажа покрытия в северной части стадиона «Газпром Арена» [материалы автора]

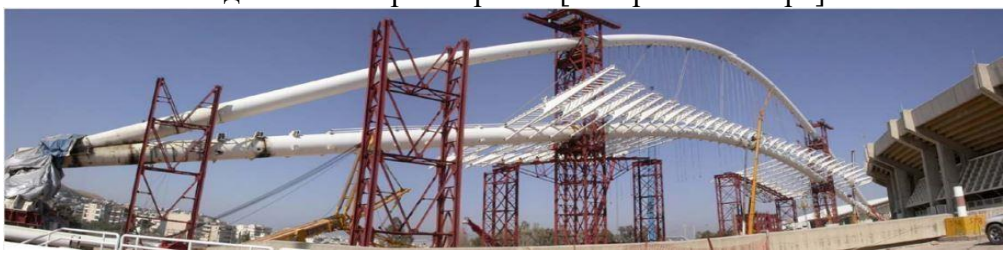


Рисунок 3. Укрупнительная сборка арки на временных опорах (стадион «Спирос Луис») [материалы автора]

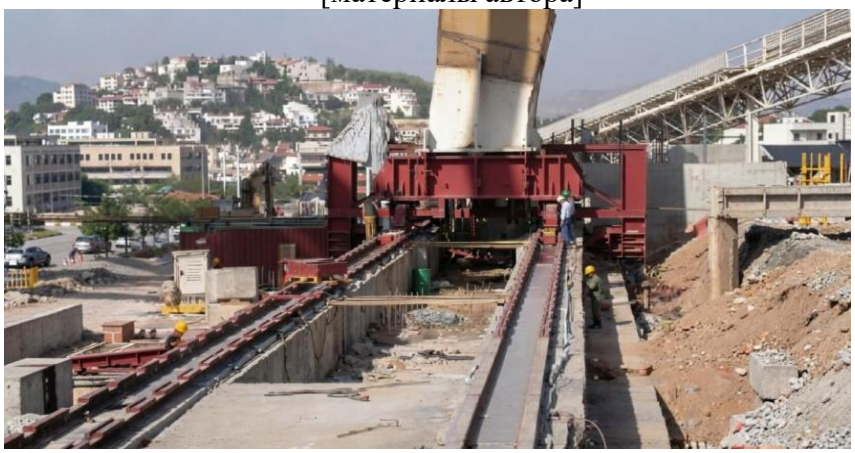


Рисунок 4. Перемещение арки к проектному положению [материалы автора]

Сравнительная характеристика вариантов представлена в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение вариантов организации строительной площадки

Критерий	**Внутри объекта**	**Вблизи смежных процессов**	**За пределами площадки**
Сроки монтажа	Увеличены (последовательно)	Сокращены (параллельно)	Значительно сокращены
Требования к территории	Минимальные	Средние	Высокие (расширение границ)
Влияние сейсмики	Высокий риск для временных опор	Требует расчета стапелей	Возможность выбора безопасной зоны
Логистика	Ограничена внутри чаши	Требует координации	Свободный доступ техники
Затраты на временные сооружения	Средние	Высокие	Максимальные

Как показано в таблице 1, каждый вариант имеет специфические ограничения. Для условий Алматы, где возможны перерывы в работе из-за сейсмической активности, вариант со сборкой за пределами площадки предоставляет наибольшие возможности для резервирования ресурсов.

4. Обсуждение

Полученные результаты согласуются с данными других исследований о влиянии организационных факторов на надежность стройпроизводства (Mishchenko et al., 2020). Преимущество сборки внутри объекта заключается в удобстве при радиально-кольцевой схеме вант, однако в условиях плотной застройки Алматы это может быть ограничено габаритами котлована и близостью существующих зданий.

Вариант сборки вблизи смежных процессов позволяет сократить сроки, что критично для коммерческих проектов, но требует высокой координации бригад. В контексте Казахстана это осложняется дефицитом квалифицированных монтажников высотных работ. Сборка за пределами площадки оптимальна при реконструкции, однако требует разработки проекта транспортировки, что увеличивает стоимость.

Особое внимание следует уделить сейсмическому фактору. В отличие от европейских примеров, в Алматы временные опоры и стапели должны рассчитываться на сейсмические воздействия 8–9 баллов. Это может нивелировать экономическую выгоду некоторых
вариантов. Практическая надежность системы может быть повышена за счет резервирования ресурсов, что подтверждается теоретическими положениями организационно-технологической надежности (Sergeeva & Sergeev, 2021).

Ограничением исследования является отсутствие детального количественного расчета стоимости для конкретных объектов Алматы, что планируется выполнить в дальнейших работах.

5. Выводы

Выбор варианта организации площадки укрупнительной сборки вантовых покрытий является комплексной задачей, требующей учета архитектурных, технологических и региональных факторов.

Для условий города Алматы приоритетным критерием становится сейсмическая безопасность временных конструкций, что может склонить выбор в пользу сборки за пределами основной площадки.

Применение принципов резервирования ресурсов позволяет повысить организационно-технологическую надежность процесса монтажа.

Перспективным направлением исследований является разработка адаптивных методов мониторинга напряженно-деформированного состояния вантовых систем в реальном времени с учетом сейсмических воздействий.

Литература

1. Fedortsev, I. V., & Sultanova, E. A. (2008). Technology of construction of structures covering large-span buildings. Ufa: USNTU Publishing House.
2. Mishchenko, V. Ya., Chesnokov, A. S., & Andreishchev, D. A. (2020). Reconstruction of a residential area with elements of energy efficiency implementation. Construction and Real Estate, 1(5), 27–31.
3. Sergeeva, A. Yu., & Sergeev, Yu. D. (2021). Research of factors of increase of organizational and technological reliability of construction production. Construction and Real Estate, 1(8), 79–88.
4. Sergeeva, A. Yu., Sergeev, Yu. D., Myasishchev, Yu. V., & Myasishchev, R. Yu. (2020). Research of ensuring the durability of load-bearing structures in the process of operation. Construction and Real Estate, 2(6), 124–129.
5. Shentyapina, E. S. (2019). Analysis of construction technologies used in the construction ofmodern stadiums. Moscow State Technical University. https://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkrdostupa/2019/DSN_Mytishy_2019.pdf
6. Wu, M., Tian, W., He, J., Liu, F., & Yang, J. (2023). Seismic isolation effect of rubber- sand mixture cushion under different site classes based on a simplified analysis model. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 166, 107738.
7. https://doi.org/10.1016/J.SOILDYN.2022.107738
8. Yarahuaman, A. A., & McCartney, J. S. (2024). Full-scale seismic response test on a shallow foundation embedded in tire-derived aggregate for geotechnical seismic isolation. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 177, 108417.
9. https://doi.org/10.1016/J.SOILDYN.2023.108417
10. Yurken, N. V., Kolyushev, I. E., & Skorik, O. G. (2018). The Formula of the Bridge. Origami Books.
11. Karamysheva, A. A., Kolotienko, M. A., Grankina, D. V., & Sotnikova, A. N. (2019). Technological aspect of rationalization of solutions for cable-stayed coverings of large- span sports facilities. Engineering Bulletin of the Don, 6.
12. Gorbaneva, E. P., Archakova, S. Yu., & Shaikina, V. V. (2017). Analysis of the production planning system. In Current trends in the construction and operation of real estate (pp. 109–114). Voronezh.

УДК: 656.078:502.31
МРНТИ: 73.43.01, 73.43.75

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К РАЗВИТИЮ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ И ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

[1]Протопопов Р.С., *[1] Протопопов Р.С.
[1] КазАДИ, Алматы., Казахстан
*Протопопов Р.С. e-mail: puple123753@gmail.com

Аннотация В статье рассматривается устойчивое развитие транспортной инфраструктуры и городских пространств в современных условиях. Актуальность темы связана с ростом городов, увеличением количества транспорта и нагрузкой на окружающую

среду. Особое внимание уделяется проблемам перегруженности дорог, загрязнения воздуха и неэффективного использования городской территории. Рассматриваются основные подходы к улучшению транспортной системы, включая развитие общественного транспорта, внедрение экологичных решений и использование современных технологий. Также анализируется роль городского планирования в создании комфортной и безопасной среды для жителей. Устойчивое развитие предполагает баланс между экономическими, экологическими и социальными факторами. В статье подчеркивается, что грамотное развитие транспортной инфраструктуры позволяет не только улучшить передвижение по городу, но и повысить качество жизни населения. В результате делается вывод о необходимости комплексного подхода к развитию городских пространств с учетом долгосрочных целей и интересов общества.

Ключевые слова устойчивое развитие, транспортная инфраструктура, городская среда, общественный транспорт, экология, городское планирование

Информация об авторах:

Протопопов Р,С, *Студент, КазАДИ, Алматы, Казахстан. E-mail: puple123753@gmail.com*

Протопопов Р,С, *Студент, КазАДИ, Алматы, Казахстан. E-mail: rus.protopopov@mail.ru*

1. Введение

В современных условиях развитие городов происходит очень быстро, что приводит к увеличению количества транспорта и нагрузке на инфраструктуру. Это создает такие проблемы, как пробки, загрязнение воздуха и снижение качества жизни населения. Поэтому тема устойчивого развития транспортной инфраструктуры и городских пространств становится особенно актуальной. Несмотря на наличие исследований в этой области, многие вопросы остаются недостаточно изученными, особенно в контексте комплексного подхода к развитию городов.

Целью данной работы является анализ устойчивого развития транспортной инфраструктуры и определение основных направлений её улучшения. Для достижения цели были поставлены следующие задачи: изучить текущее состояние транспортной системы, выявить основные проблемы и рассмотреть возможные пути их решения.

Объектом исследования является транспортная инфраструктура города, а предметом — процессы её устойчивого развития. Новизна работы заключается в рассмотрении современных подходов к развитию городской среды с учетом экологических и социальных факторов.

2. Материалы и методы

В ходе исследования использовались такие методы, как анализ научной литературы, сравнительный анализ и обобщение данных. В качестве материалов были использованы статистические данные, отчеты международных организаций и научные статьи по теме устойчивого развития транспорта.

Также применялся метод системного анализа, который позволил рассмотреть транспортную инфраструктуру как единую систему. Для обработки данных использовались стандартные методы анализа информации. Это позволяет обеспечить достоверность и повторяемость результатов исследования

3. Результаты

В результате исследования были выявлены основные проблемы транспортной инфраструктуры: перегруженность дорог, высокий уровень выбросов и недостаточное развитие общественного транспорта.

Также установлено, что внедрение цифровых технологий и развитие экологичного транспорта способствует улучшению ситуации

Таблица 1. Основные проблемы транспортной инфраструктуры

Проблема	Причина	Последствия
Пробки	Рост количества машин	Потеря времени

Загрязнения	Загрязнение воздуха	Выбросы транспорта
Слабый общественный транспорт	Слабый общественный транспорт	Недостаток инвестиций

Эта таблица 1 помогает понять основные показатели транспортной нагрузки в городе и служит основой для анализа проблем и поиска решений.

Таблица 2. Направления улучшения

Решение	Снижение пробок (%)	Снижение выбросов (%)	Улучшение времени поездки (%)
Развитие общественного транспорта	20	15	18
Введение электробусов	10	25	8
Умные светофоры	15	10	20
Велоинфраструктура	8	12	10

В таблице 2 представлены возможные решения и их эффективность, где наибольший эффект показывает развитие общественного транспорта.

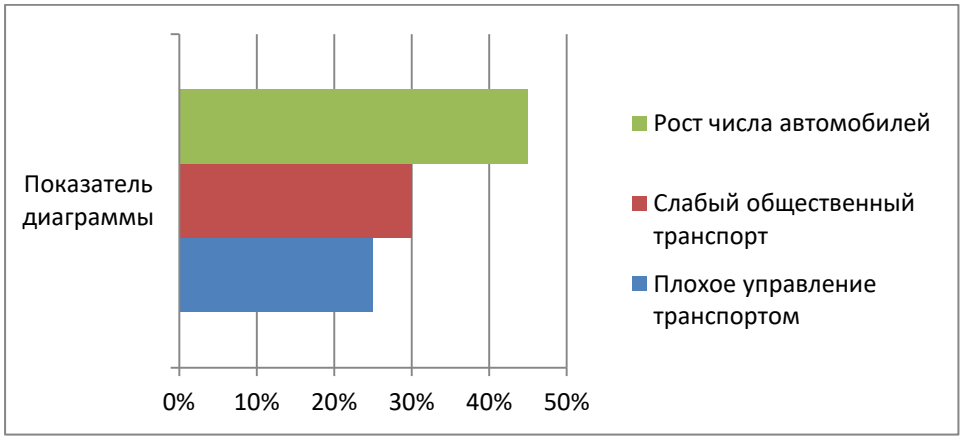


Рисунок 1. Основные причины проблем транспортной инфраструктуры в городе (%)

Как видно на Рисунке 1, основной причиной проблем является рост числа автомобилей (45%).

4. Обсуждение

Полученные результаты показывают, что проблемы транспортной инфраструктуры носят комплексный характер и требуют системного решения. В отличие от отдельных исследований, где рассматривается только одна проблема, в данной работе делается акцент на взаимосвязи всех факторов.

Сравнение с другими исследованиями показывает, что развитие общественного транспорта и внедрение экологичных решений являются наиболее эффективными способами улучшения ситуации. Однако ограничением является недостаток финансирования и слабая реализация проектов.

Практическая значимость работы заключается в возможности применения предложенных решений для улучшения городской среды.

5. Выводы

В результате исследования установлено, что устойчивое развитие транспортной инфраструктуры является важным фактором повышения качества жизни в городе. Основные проблемы связаны с перегрузкой дорог и экологией.

Для их решения необходимо развивать общественный транспорт, внедрять экологичные технологии и использовать цифровые решения.

В дальнейшем рекомендуется более детально изучить влияние новых технологий на развитие транспортных систем.

Литература

1. Banister, D. (2020). Sustainable transport: Challenges and opportunities. *Transport Reviews, 40*(1), 1–8. https://doi.org/10.1080/01441647.2020.1713798
2. Bertolini, L. (2020). From “streets for traffic” to “streets for people”. *Transport Policy, 92*, 65–72. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2020.03.008
3. Cervero, R. (2021). Transport infrastructure and sustainable development. *Urban Studies, 58*(4), 789–806. https://doi.org/10.1177/0042098020903261
4. Geels, F. W. (2021). Low-carbon transition in transport. *Research Policy, 50*(6), 104244. https://doi.org/10.1016/j.respol.2021.104244
5. Givoni, M. (2020). Integrated transport systems. *Transport Reviews, 40*(3), 1–10. https://doi.org/10.1080/01441647.2020.1737780
6. Litman, T. (2023). Evaluating transportation sustainability. *Journal of Transport Geography, 102*, 103374. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2022.103374
7. Marsden, G., & Reardon, L. (2021). Governance of urban mobility transitions. *Transport Policy, 103*, 116–125. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2021.01.012
8. Newman, P., & Kenworthy, J. (2020). Urban design and transport sustainability. *Sustainability*, *12*(2), 456. https://doi.org/10.3390/su12020456
9. Shaheen, S., & Cohen, A. (2022). Shared mobility policies. *Transport Policy*, *119*, 1–12. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2022.01.005
10. Wu, M., Tian, W., He, J., Liu, F., & Yang, J. (2023). Seismic isolation effect of rubber-sand mixture cushion. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, *166*, 107738. https://doi.org/10.1016/J.SOILDYN.2022.107738

УДК: 666.9
МРНТИ: 67.09.31

КАРБОНАТНЫЕ ЦЕМЕНТЫ НИЗКОЙ ВОДОПОТРЕБНОСТИ НА ОСНОВЕ ОТСЕВОВ ДРОБЛЕНИЯ ИЗВЕСТНЯКА КАК СПОСОБ СНИЖЕНИЯ КЛИНКЕРОЕМКОСТИ И УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА

[1]Айдинов К.Б., [2]Акимов В.И., [3]Бақытжан А.С., [4]Джолдасбаева С.М., *[5]Рустемов И.А.

[1,2,3,4,5] Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан
*Автор-корреспондент e-mail: Kipchak54@mail.ru

Аннотация В статье рассматривается подход к снижению клинкероемкости цементных систем за счет применения карбонатных цементов низкой водопотребности. Обоснован выбор кальциевых карбонатных систем по сравнению с магнезиальными вяжущими, ограниченными повышенной водопотребностью и технологическими рисками. На основе анализа выполнен выбор карбонатного цемента низкой водопотребности ЦНВ-50КБ и проведено его сопоставление с традиционным портландцементом ПЦ500Д0. Сравнение выполнено по основным технологическим показателям, включая прочность на различных сроках твердения и сроки схватывания. Показано, что цемент ЦНВ-50КБ обеспечивает сопоставимые технологические и прочностные характеристики при сниженной доле клинкера и пониженной водопотребности. Особое внимание уделено возможности применения отсевов дробления известняковых продуктов Казахстана в качестве сырья. Экологическая оценка, основанная на опубликованных данных, свидетельствует о снижении удельных

выбросов диоксида углерода и энергоемкости производства. Полученные результаты подтверждают перспективность карбонатных ЦНВ как эффективной и экологически обоснованной альтернативы портландцементу.

Ключевые слова карбонатные цементы, цементы низкой водопотребности, снижение клинкероемкости, портландцемент, экологическая эффективность, выбросы CO_2, отсевы дробления.

Информация об авторах:

Айдинов К.Б. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Акимов В.И. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Бақытжан А.С. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Джолдасбаева С.М. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Рустемов И.А. *К.т.н., ассоциированный профессор КазАДИ, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail:* Kipchak54@mail.ru

1. Введение

Цементная промышленность является одним из крупнейших источников антропогенных выбросов CO_2, главным образом за счет производства портландцементного клинкера, которое включает кальцинацию известняка и работу высокотемпературных печей (1450°C). В ежегодном аналитическом отчете, оценивающем прогресс мирового сообщества в сокращении выбросов парниковых газов, приводится данные о том, что на долю цемента приходится около 7% мировых выбросов (Cement and concrete, 2025). Как отмечает Э.Б. Мусина, по данным "Central Pollution Control Board" цементная промышленность входит в число 17 наиболее вредных для окружающей среды производств (Мусина, 2023). Производство цемента в Казахстане достигло исторического рекорда – за первые 11 месяцев 2025 года оно составило 13,07 млн тонн (Жусупбекова, 2026). Это означает, что цементная промышленность Республики остается крупным сектором экономики с существенным воздействием на окружающую среду.

В условиях ужесточения экологических требований одной из приоритетных задач является снижение клинкероемкости цементных систем. В последние годы активно развиваются направления, связанные с применением альтернативных вяжущих, включая цементы низкой водопотребности (ЦНВ) и карбонатные системы. Однако существующие решения часто ориентированы на оптимизацию отдельных показателей. Кроме того, в Казахстане накоплены значительные объемы отсевов дробления известняковых продуктов карьеров, которые могут служить источником карбонатной фазы. Отсутствие целостного понимания взаимосвязи снижения доли клинкера, типа карбонатной фазы (включая вторичное сырье) и механизма водопотребности определяет актуальность данного исследования.

Целью настоящей работы является обоснование применения кальциевых карбонатных ЦНВ, в том числе на основе отсевов дробления, как эффективного способа снижения клинкероемкости и углеродного следа цементных систем. Для достижения поставленной цели выполнен сравнительный анализ минералов карбонатного цемента, проведено сопоставление подходящего типа цемента с портландцементом ПЦ500Д0, а также рассмотрены данные для оценки его экологического рейтинга.

2. Материалы и методы

Основными методами, которые применялись в процессе исследования, являются теоретико-аналитический и сравнительный методы. Выбор теоретического подхода обусловлен тем, что ключевые экологические показатели цемента определяются долей клинкера и водопотребностью. Эти параметры представлены в современной научной литературе и могут быть проанализированы без проведения собственных

экспериментальных исследований. Целью методологии является систематизация и интерпретация существующих результатов для выявления экологического эффекта при совместном снижении клинкерного фактора и водопотребности.

Методология работы построена по принципу поэтапного уточнения объекта исследования. На первом этапе проведен обзор карбонатных цементов. На втором этапе выполнено обоснование выбора кальциевой карбонатной фазы, включая возможность использования отсевов дробления известняка, характерных для месторождений Казахстана. Третий этап включал сравнительный анализ различных типов карбонатных ЦНВ. В качестве критериев отбора использовались водопотребность, сроки схватывания, показатели прочности. По совокупности данных выбран ЦНВ-50КБ. На четвертом этапе проведено сопоставление выбранного типа цемента с ПЦ500Д0. Заключительный этап был направлен на оценку экологического преимущества с учетом потенциала утилизации отходов дробления.

3. Результаты

Анализ литературных данных показывает, что карбонатные ЦНВ представляют собой класс вяжущих, в которых содержание клинкера варьируется в диапазоне 30-70%. В качестве минеральных компонентов используются карбонатные материалы (известняк, доломит), а также отсевы дробления (Хозин и др., 2021). Результаты сопоставления кальциевых и магнезиальных карбонатных систем показывают принципиальные различия в их технологических свойствах (Таблица 1). Магнезиальные цементы характеризуются повышенной водопотребностью, тогда как кальциевые системы обладают более низкой водопотребностью и высокой совместимостью с портландцементным клинкером (Hargis et al., 2021).

Таблица 1.

Наименование показателя	**Ca-системы**	**Mg-системы**
Водопотребность, %	20-25	30-35
Усадка	Низкая	Повышенная
Стабильность объема	Высокая	Ограниченная
Технологическая совместимость	Высокая	Средняя

Примечание: составлено авторами на основании данных (Lothenbach et al., 2025).

Сравнительный анализ различных типов карбонатных ЦНВ показал, что оптимальный баланс достигается при содержании клинкера на уровне 50% (Таблица 2). Энергозатраты на помол ЦНВ и водоцементное отношение при 4% содержании суперпластификатора С-3 значительно ниже, чем при 1-3%.

Таблица 2. Сравнительные характеристики ЦНВ с различным содержанием клинкера

Наименование показателя	**ЦНВ-30**	**ЦНВ-50**	**ЦНВ-70**
Общие энергозатраты, кВт*ч/кг	0,66	1,17	1,58
Нормальная густота, %	20,3	19,7	20,3
В/Ц	0,28	0,25	0,26
Прочность при сжатии (28 сут), МПа	38,5	75,7	94,1

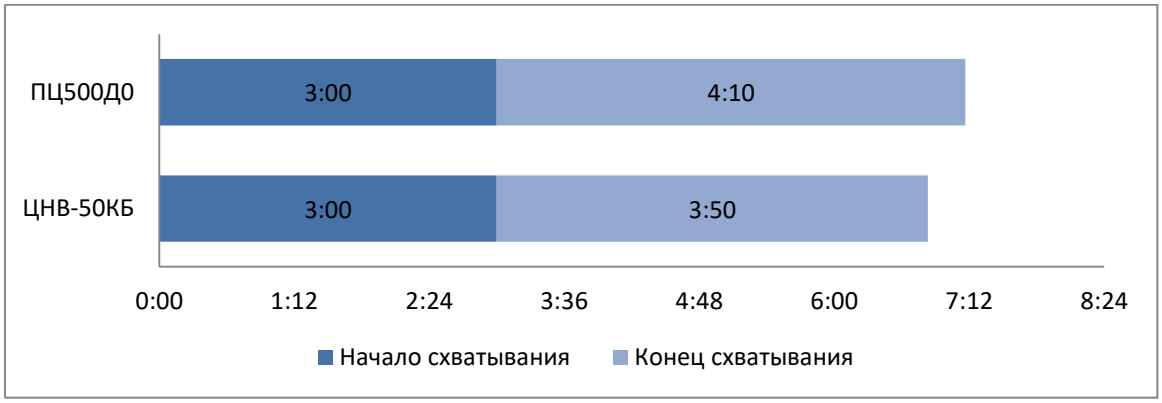
Примечание: составлено авторами на основании данных (Хозин и др., 2021).

Сводные данные о физико-механических свойствах цемента ЦНВ-50КБ представлены в Таблице 3. Сравнительная оценка с портландцементом ПЦ 500 Д0 выполнена по показателям прочности и срокам схватывания (Рисунок 1). Сроки схватывания для ЦНВ-50КБ составляют 3:00-3:50, для портландцемента – 3:00-4:10.

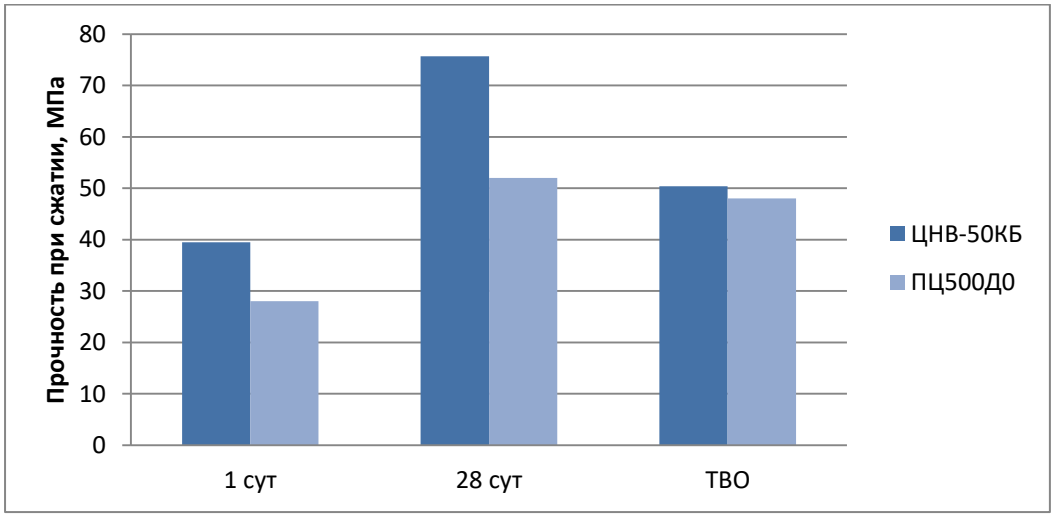
Таблица 3. Свойства Карбонатных ЦНВ-50КБ

Наименование показателя	Значение показателя
Удельная поверхность, м2 / кг	682
Нормальная густота, %	19,7
В/Ц	0,25
Прочность при сжатии (28 сут), Мпа	75,7

Примечание: составлено авторами на основании данных (Хозин и др., 2021).



а) сравнительный анализ сроков схватывания



б) сравнительная прочность при сжатии;

Рисунок 1. Сравнительный анализ вяжущих [материалы автора].

Результаты экологической оценки показывают, что снижение доли клинкера обеспечивает сокращение прямых выбросов углекислого газа на 35-40% (Hargis et al., 2021). Удельные выбросы ЦНВ-50КБ равняются 414 кгCO_2/тц, а общий рейтинг составляет 5,67 кгCO_2/тМПа (Хозин и др., 2021).

4. Обсуждение

Полученные результаты позволяют интерпретировать роль карбонатных цементов низкой водопотребности как самостоятельного класса высокоэффективных цементов. Выбор кальциевых карбонатов обусловлен их термодинамической стабильностью. В отличие от магниевых карбонатов, кальцит не вызывает замедления гидратационных процессов. Особое значение имеет возможность использования отсевов дробления известняковых продуктов, накапливающихся на карьерах Казахстана. Это позволяет не только снизить клинкероемкость, но и решить проблему утилизации отходов горнодобывающей промышленности.

Результаты сопоставления показали, что оптимизация состава по содержанию клинкера и суперпластификатора является ключевым фактором. ЦНВ-50КБ с 4% суперпластификатором С-3 представляется обоснованным с экономической, технологической и экологической точек зрения. Сравнение с традиционным портландцементом ПЦ500Д0 позволяет сделать вывод о том, что снижение клинкерного фактора не сопровождается ухудшением ключевых показателей. Механизм водопотребности позволяет компенсировать снижение клинкерного фактора и обеспечить формирование плотной структуры цементного камня.

Экологический аспект подтверждает эффективность подхода. Дополнительным фактором является присутствие карбонатного компонента, способного участвовать в процессах связывания CO_2. Использование местных отсевов дробления снижает транспортные расходы и углеродный след, связанный с логистикой сырья, что особенно актуально для обширной территории Казахстана.

5. Выводы

В работе предложен комплексный подход к оценке цементов низкой водопотребности, позволяющий связать снижение клинкероемкости с сохранением технологических свойств и экологической эффективностью. Показано, что проблема потери прочностных характеристик при снижении доли клинкера решается за счет использования кальциевых карбонатных ЦНВ с оптимизированным зерновым составом. Обоснован выбор цемента ЦНВ-50КБ с 4% суперпластификатора С-3 как наиболее сбалансированного.

Установлено, что механизм водопотребности позволяет компенсировать снижение клинкерного фактора. Проведено сопоставление технологических характеристик и экологической эффективности карбонатных ЦНВ и традиционного портландцемента. Важным результатом является подтверждение возможности применения отсевов дробления известняковых продуктов Казахстана в качестве сырья, что усиливает экономическую и экологическую целесообразность технологии. Данная работа вносит вклад в развитие концепции цементов низкой водопотребности как самостоятельного класса низкоуглеродных вяжущих.

Литература

1. Cement and concrete. (2025). Breakthrough Agenda Report 2025. International Energy Agency. https://www.iea.org/reports/breakthrough-agenda-report-2025/cement-and-concrete
2. Fei, J., Mingshan, Z., Maochun, X., & Liwu, M. (2024). Maximising the benefits of calcium carbonate in sustainable cements: Opportunities and challenges associated with alkaline waste carbonation. Materials Sustainability, 2(1), 1. https://doi.org/10.1038/s44296-024-00005-z
3. Gulyakov, E.G., Hozin, V.G., Borovskih, I.V., & Zigangirov, A.I. (2025). Vysokoprochnye cementy nizkoj vodopotrebnosti [High-strength low water-demand cements]. Tekhnika i tekhnologiya silikatov, 32(2), 115-127. https://doi.org/10.62980/2076-0655-2025-115-127
4. Hargis, C.W., Chen, I.A., Devenney, M., Fernandez, M.J., Gilliam, R.J., & Thatcher, R.P. (2021). Calcium Carbonate Cement: A Carbon Capture, Utilization, and Storage (CCUS) Technique. Materials, 14(11), 2709. https://doi.org/10.3390/ma14112709
5. Hozin, V.G., Hohryakov, O.V., & Sibgatullin, I.R. (2021). Karbonatnye cementy nizkoj vodopotrebnosti [Carbonate low water-demand cements]. ASV. https://iasv.ru/karbonatnye-tsementy-nizkoj-vodopotrebnosti.html
6. Lothenbach, B., Bernard, E., Zhou, Z., German, A., Montserrat-Torres, P., & Winnefeld, F. (2025). Critical review of the properties of MgO – magnesium carbonate cements. Cement and Concrete Research, 200, 108092. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2025.108092
7. Lozovskij, B.M., Makarenko, S.V., Chubanov, A.N., & Laptev, A.A. (2021). Issledovanie po polucheniyu cementov nizkoj vodopotrebnosti s ispol'zovaniem karbonatnyh i

kremnezemistyh dobavok [Study on obtaining low water-demand cements using carbonate and siliceous additives]. Nauka, tekhnologii, obshchestvo – NTO-2021, 69-73. https://ruconf-domnit.ru/media/cards/pdfs/%D1%81%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA_%D0%9D%D0%A2%D0%9E-2021.pdf

8. Musina, E.B. (2023). Ocenka vliyaniya cementnoj promyshlennosti na zagryaznenie okruzhayushchej sredy na primere AO "Karcement" [Assessment of the impact of the cement industry on environmental pollution on the example of JSC "Karcement"]. Gidrometeorologiya i ekologiya, (2), 73-80. https://journal.kazhydromet.kz/kazgidro/article/view/106/2120
9. Powers, T.C. (2006). Structure and Physical Properties of Hardened Portland Cement Paste. Journal of the American Ceramic Society, 41(1), 1-6. https://doi.org/10.1111/j.1151-2916.1958.tb13494.x
10. Scrivener, K.L., John, V.M., & Gartner, E.M. (2018). Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO2 cement-based materials industry. Cement and Concrete Research, 114, 2-26. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.03.015
11. Yestemessov, Z.A., Auezova, Y.A., Uralkhanova, A.U., Ibraimov, D.R., Odintsov, D.S., & Khaidarov, A.M. (2020). Construction and technical properties of PC 500 D0 cement. ҚazBSҚA Habarshysy, 3(77), 129-137. https://doi.org/10.51488/1680-080X/2020.3-17
12. Zhusupbekova, D. (2026, January 13). Proizvodstva cementa v Kazahstane dostiglo istoricheskogo rekorda [Cement production in Kazakhstan reached a historic record]. Kazinform. https://www.inform.kz/ru/proizvodstvo-tsementa-v-kazahstane-dostiglo-istoricheskogo-rekorda-fbc207

УДК: 711.4:550.34
МРНТИ: 87.24.29

СЕЙСМИЧЕСКИЕ РИСКИ КАК ФАКТОР УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ГОРОДСКИХ ПРОСТРАНСТВ: ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ЦЕН НА ЖИЛЬЕ

[1]Каримжан А.А., [2]Карымсаков А.С., [3]Ажигулов М., [4]Айтакын Б.Ж., *[5]Рустемов И.А.

[1,2,3,4,5] Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан
*Автор-корреспондент e-mail: nka55@mail.ru

Аннотация В исследовании анализируется взаимосвязь между ценами на жилье в Алматы и факторами сейсмического риска, включая близость к активным разломам, типы грунтов и инженерно-геологические зоны. На основе выборки из 315 объявлений о продаже двухкомнатных квартир с платформы Krisha.kz проведено сопоставление медианных цен за 1 м² по типам конструкций (кирпич, панель, монолит) в пределах 28 инженерно-геологических зон. Результаты показывают, что квартиры в монолитных домах в среднем на 14% дороже городской медианы, тогда как кирпичные и панельные здания оцениваются ниже. Буферный анализ выявил, что около 35% застройки расположено в пределах 500 м от картированных разломов. Установлена умеренная положительная корреляция между интенсивностью ночного освещения (VIIRS) и ценами на жилье (Пирсон r≈0,47; Спирман ρ≈0,45; p≈0,04), что указывает на влияние экономической активности, но не объясняет полностью ценовые пики. Полученные данные свидетельствуют о необходимости учета геологических рисков при планировании городской застройки и формировании рыночной стоимости недвижимости.

Ключевые слова сейсмический риск, цены на жилье, активные разломы, грунтовые условия, ночное освещение (VIIRS), инженерно-геологические зоны, Алматы, устойчивое развитие городов.

Информация об авторах:

Каримжан А.А. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова,*

Алматы, Казахстан
Карымсаков А.С. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*
Ажигулов М. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*
Айтакын Б.Ж. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*
Рустемов И.А. *к.т.н., ассц., профессор КазАДИ, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: nka55@mail.ru*

1. Введение

Алматы расположен на аллювиальных конусах выноса у подножия Заилийского Алатау, где уклон местности, характеристики грунтов и локальное усиление пикового ускорения грунта существенно влияют на потенциальный ущерб зданиям при землетрясениях. В таких условиях рыночная стоимость жилья, вероятно, отражает не только экономический спрос, но и восприятие жителями экологической и сейсмической безопасности. Исторически Алматы неоднократно подвергался разрушительным землетрясениям, включая события конца XIX – начала XX века, которые привели к значительным разрушениям и человеческим жертвам. Эти события подтверждают, что сейсмический риск для жителей и застроенной среды города не является гипотетическим.

В последние десятилетия сейсмический риск в Алматы возрастает не только из-за природной опасности, но и вследствие быстрого уплотнения застройки и расширения городской территории (Amey et al., 2021). Уплотнение увеличивает количество людей и зданий, подверженных воздействию скрытых разломов, а ускоренное, часто нерегулируемое строительство может приводить к слабому соблюдению сейсмических норм, особенно в уже перенаселенных районах. Например, внешние районы города, такие как Наурызбайский и Медеуский, демонстрируют признаки стихийной уплотнительной застройки.

Классические урбанистические модели предполагают, что цены на землю и жилье максимальны в центре, где концентрируются рабочие места и услуги, а более обеспеченные жители могут позволить себе проживание вблизи инфраструктуры. Однако в сейсмически активном городе, таком как Алматы, предварительный анализ показывает, что цены на жилье также формируются под влиянием близости к активным разломам, локальных грунтовых условий и пространственной структуры экономической активности. Для других стран, в частности Японии, США и Турции, исследователи анализировали, как сейсмический риск и характеристики зданий капитализируются в ценах на жилье (Tabanoğlu & Demir, 2024). Для Казахстана и Алматы существуют обширные технические работы по оценке сейсмической опасности, микрорайонированию и безопасности зданий, а также отдельные экономические исследования рынка жилья, однако практически отсутствуют эмпирические исследования, связывающие сейсмическую уязвимость различных типов зданий (например, старый кирпич против нового монолитного железобетона) с фактическими ценами на жилье (Rashid et al., 2023).

Несмотря на растущий академический интерес к сейсмическому риску и городскому развитию в Алматы, отмечается заметный дефицит пространственно интегрированных исследований, которые бы анализировали, как геологические опасности отражаются в ценах на жилье. Настоящее исследование восполняет этот пробел, комбинируя сейсмическую и геоморфологическую информацию с данными о ценах на жилье для Алматы.

Целью работы является анализ пространственных закономерностей цен на жилье в Алматы в зависимости от сейсмической опасности и геолого-геоморфологических условий. Для достижения цели выполнено сопоставление цен по типам строительных материалов, инженерно-геологическим зонам и буферным зонам вокруг разломов, а также

проанализирована связь с показателями экономической активности на основе данных ночного освещения.

2. Материалы и методы

Исследование выполнено на территории г. Алматы, расположенного на аллювиальных конусах выноса у подножия Заилийского Алатау, где уклон местности, характеристики грунтов и локальное усиление пикового ускорения грунта существенно влияют на потенциальный ущерб зданиям при землетрясениях. Алматы является объектом детальных сейсмических исследований с конца XX века, в первую очередь Институтом сейсмологии Республики Казахстан. Через город проходят несколько активных разломов, многие сегменты которых скрыты под городской застройкой, что затрудняет их прямое наблюдение. В работе использованы картированные трассы активных разломов из карт микрорайонирования Института сейсмологии для анализа различий в ценах на квартиры в зонах сейсмического риска, определенных по близости к разломам и инженерно-геологическим условиям (Sadykova et al., 2021). В среде QGIS созданы две буферные зоны вокруг разломов: 0–300 м (высокий риск) и 300–500 м (средний риск), с последующим расчетом количества зданий в каждой зоне.

Данные о квартирах получены с платформы Krisha.kz за 2025 год, включая местоположение, цену, материал конструкции и год постройки здания (Krisha.kz, 2026). Материал конструкции (кирпич, панель, монолит) часто отражает период строительства: кирпичные здания относятся преимущественно к советскому периоду до ~1990 г., панельные - к 1990–2010 гг., монолитные - к периоду после 2010 г. Для снижения гетерогенности выборка ограничена двухкомнатными квартирами как наиболее распространенным и сопоставимым типом жилья. Цена за 1 м² рассчитана делением общей стоимости на заявленную площадь; экстремальные выбросы проверены и исключены. Итоговый набор данных содержит 315 объявлений, распределенных по 28 инженерно-геологическим зонам (ИГЗ), при этом в большинстве зон представлено по 5–8 объектов на каждый тип материала. Квартиры классифицированы по материалу конструкции, а медианные цены за 1 м² для каждой зоны визуализированы в QGIS.

Карты инженерно-геологических зон, типов грунтов и активных разломов получены из недавних исследований по микрорайонированию Института сейсмологии (Sadykova et al., 2021). Поскольку карты доступны только в растровом формате, выполнена их геопривязка в проекции UTM в QGIS. Операция объединения (dissolve) применена для агрегации полигонов ИГЗ и грунтовых условий с целью согласования масштаба с данными о жилье. Объявления о квартирах пространственно присоединены к полигонам ИГЗ, чтобы каждому объекту была присвоена соответствующая зона. Нумерация ИГЗ произвольна и не отражает иерархию или уровень риска. Для характеристики экономической активности использованы данные о средней интенсивности ночного освещения за 2025 год от спутниковой системы VIIRS Nighttime Day/Night Band Composites Version 1 (пространственное разрешение 463,83 м) (EOG, 2026). Изображение наложено на карту грунтовых условий для анализа распределения высокоосвещенных зон относительно типов грунтов. Блок-схема методологии представлена на рисунке 1.

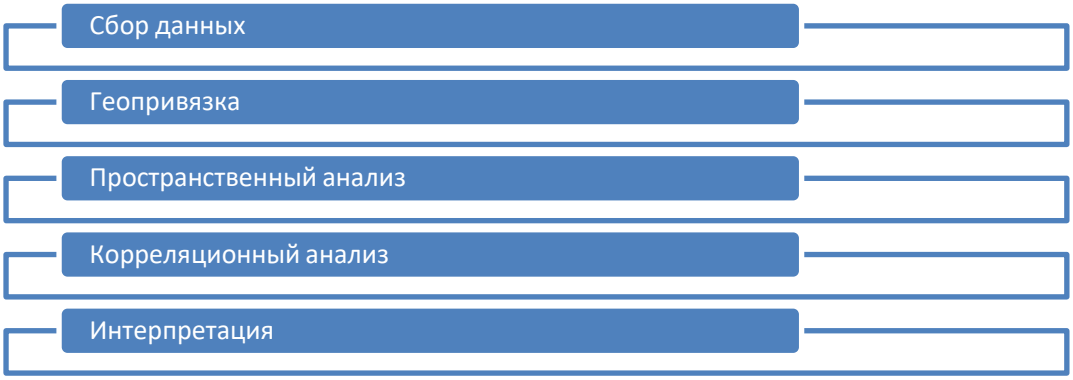


Рисунок 1. Блок-схема методологии исследования [материалы автора].

Для оценки связи между ночным освещением (NTL) и ценами на жилье использованы корреляционный и регрессионный анализ: коэффициент Пирсона для оценки линейной связи, коэффициент Спирмена для выявления монотонных нелинейных зависимостей и простая линейная регрессия МНК. Все расчеты выполнены в Google Colab с использованием Python. Применение данной методологии позволило обеспечить воспроизводимость результатов и провести комплексный пространственный анализ взаимосвязи сейсмических факторов, геолого-геоморфологических условий и рыночной стоимости жилья в Алматы.

3. Результаты

Итоговый набор данных включает 315 объявлений о квартирах в 28 ИГЗ. Распределение по материалам: монолит - 133 объекта, кирпич - 117, панель - 65. Неравномерность объясняется отсутствием данных в горных зонах и отсутствием панельных зданий в отдельных ИГЗ.

Медианные цены варьируются по типам конструкций: кирпич - ~661,5 тыс. тенге/м², панель - ~720 тыс. тенге/м², монолит - ~787,5 тыс. тенге/м². Таким образом, монолитные квартиры в среднем на 14% дороже городской медианы, тогда как кирпичные и панельные - немного ниже. Распределение медианных цен по материалам представлено на рисунке 2.

Таблица 1. Медианные цены на жилье по типам конструкций

Тип конструкции	Количество объектов	Медианная цена, тыс. тенге/м²	Отклонение от городской медианы, %
Кирпич	117	661,5	-4,2
Панель	65	720,0	+4,1
Монолит	133	787,5	+13,8

Примечание: составлено авторами на основе данных Krisha.kz (2026).

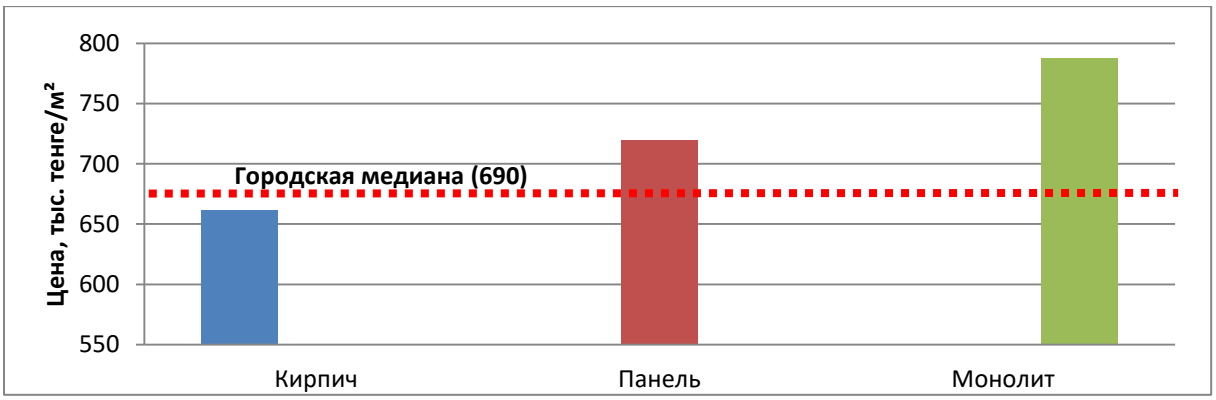


Рисунок 2. Распределение медианных цен по типам конструкций [материалы автора]

 ISBN 978-601-08-5209-9

Медианные цены варьируются по типам конструкций: кирпичные квартиры имеют медианную цену около 661,5 тыс. тенге/м², панельные - около 720 тыс. тенге/м², монолитные - 787,5 тыс. тенге/м². Таким образом, монолитные квартиры в среднем на 14% дороже городской медианы, тогда как кирпичные и панельные здания оцениваются немного ниже. Эта иерархия цен (кирпич<панель<монолит) сохраняется как в целом по городу, так и в пределах многих инженерно-геологических зон. Пространственное распределение цен по ИГЗ и материалам иллюстрирует рисунок 3.

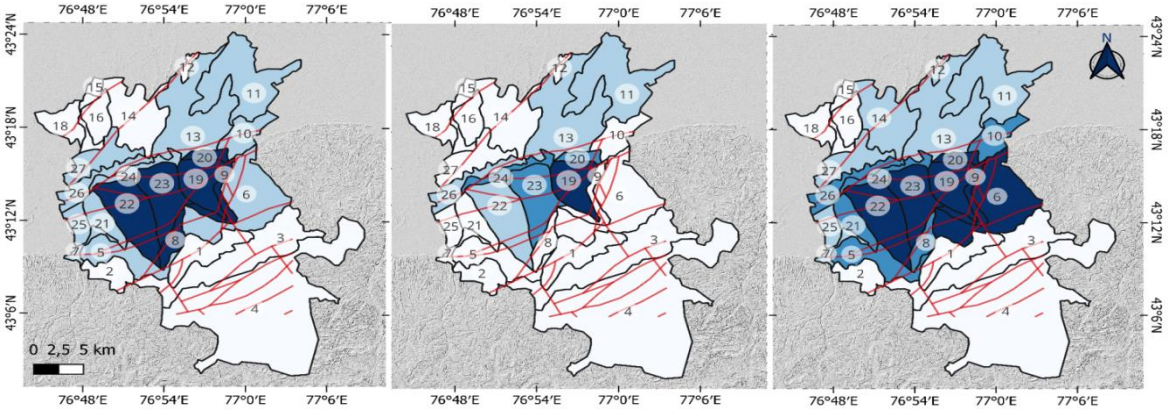


Рисунок 3. Медианные цены на жилье по типам конструкций в инженерно-геологических зонах.

Буферный анализ показал, что лишь ограниченная доля зданий расположена в непосредственной близости от разломов. В зоне 0–300 м от разломов находится 40386 зданий, дополнительно 23117 зданий - в зоне 300–500 м. Вместе эти зоны составляют ~35% от общего количества зданий в наборе данных (180047). Пространственное соотношение разломов и буферных зон представлено на рисунке 4.

Анализ связи ночного освещения и цен на жилье показывает, что экономически более активные зоны с повышенной яркостью ночного освещения (NTL) характеризуются более высокими ценами (рисунок 5). Для расчета корреляции использованы медианные цены монолитных зданий как наиболее широко представленных по всем ИГЗ. Зоны без данных исключены из анализа.

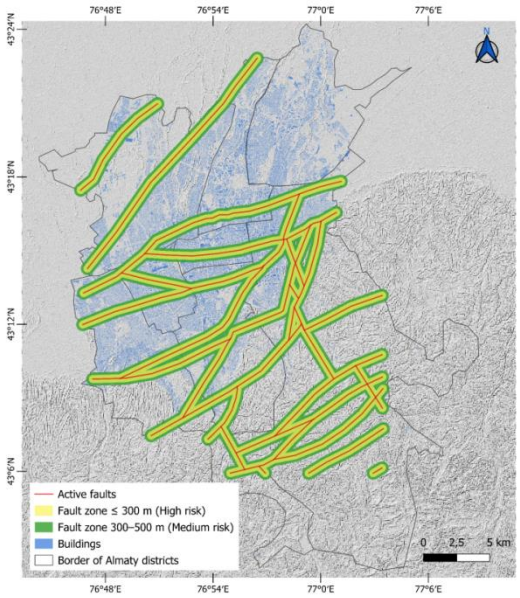


Рисунок 4. Трассы активных разломов и буферные зоны риска

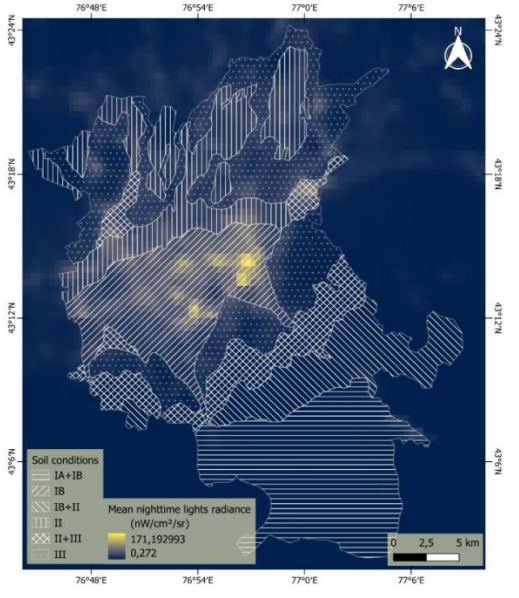


Рисунок 5. Интенсивность ночного освещения (VIIRS) и типы грунтовых условий

 ISBN 978-601-08-5209-9

Корреляционный анализ между средней интенсивностью NTL и медианными ценами на монолитные квартиры (19 зон) показал умеренную положительную связь (Пирсон r≈0,47; Спирман ρ≈0,45; p≈0,04). Модель хорошо описывает цены среднего диапазона, но недооценивает наиболее дорогие зоны (рисунок 6). Это свидетельствует о том, что NTL отражает общую городскую активность, но не объясняет полностью ценовые пики, что указывает на значимость дополнительных факторов: локальных грунтовых условий, расстояния до разломов, характеристик соседства.

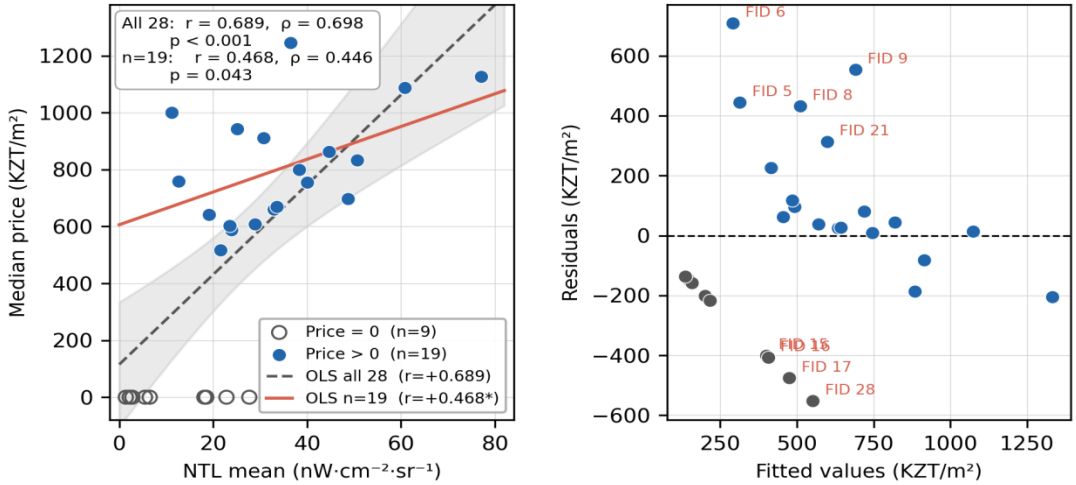


Рисунок 6. Корреляция между медианными ценами на монолитные квартиры и средней интенсивностью ночного освещения.

Отмечено, что несколько зон, сочетающих высокие цены и сильное свечение (ИГЗ 19, 20, 22, 23), расположены в инженерно-геологических зонах, считающихся относительно стабильными, тогда как зоны с более низкими ценами чаще встречаются в районах с мягкими или смешанными грунтами.

4. Обсуждение

Полученные результаты позволяют сделать ряд выводов о механизмах формирования цен на жилье в сейсмически активном городе. Наблюдаемая иерархия цен (кирпич < панель < монолит) сохраняется как в целом по городу, так и в пределах многих ИГЗ. Примечательно, что кирпичные здания, традиционно ассоциируемые с более старой застройкой и повышенной сейсмической уязвимостью (Nayak & Dutta, 2016; Avila et al., 2018), в последние годы вновь возводятся, и их цены сопоставимы с монолитными. Это может свидетельствовать о том, что современные кирпичные здания строятся с соблюдением актуальных сейсмических норм, и покупатели оценивают комплекс факторов - возраст, локацию, грунты и воспринимаемое качество, а не только материал конструкции.

Зоны 5–10 со смешанными грунтами типов II+III и III характеризуются меньшим количеством старых кирпичных зданий и растущей долей новой застройки. Зона 12, содержащая только монолитные квартиры и имеющая наименьшую медианную цену, вероятно, представляет собой недавно осваиваемую территорию, еще не вошедшую в премиальный сегмент. Напротив, центральные зоны 19, 20, 22, 23 сочетают стабильные грунты (типы IB+II) с наивысшими ценами, что указывает на предпочтительность центральных локаций с благоприятными геотехническими условиями для высокобюджетной застройки.

Умеренная положительная связь между интенсивностью ночного освещения и ценами на жилье подтверждает концентрацию экономической активности и дорогостоящего жилья в ограниченном числе ярко освещенных зон. При этом контраст между ИГЗ 19 и ИГЗ 6, обе из которых пересекают основную систему разломов, но различаются по грунтам (IB против

III) и ценам, согласуется с гипотезой о том, что лучшие грунтовые условия поддерживают более высокую стоимость жилья даже при сопоставимой близости к разломам.

Следует отметить ограничения исследования. Данные основаны на объявлениях о продаже, а не на фактических сделках, и не учитывают такие атрибуты, как этаж, состояние ремонта, репутация застройщика. Использование онлайн-объявлений может смещать выборку в сторону новой и более дорогой недвижимости. Кроме того, отсутствие данных об этажности может влиять на цены в пределах одной ИГЗ. Таким образом, полученные оценки отражают усредненные эффекты, а не полностью специфицированную гедонистическую модель, и их следует интерпретировать как индикативные свидетельства капитализации риска, а не как точные количественные оценки.

5. Выводы

В исследовании проанализированы пространственные закономерности цен на жилье в Алматы в зависимости от сейсмической опасности и геолого-геоморфологических условий. Установлено, что медианные цены за 1 м² следуют устойчивой иерархии: кирпич < панель < монолит - как в целом по городу, так и в пределах многих инженерно-геологических зон. Эта закономерность свидетельствует о том, что рынок выше оценивает новые монолитные здания в центральных, геотехнически благоприятных районах, тогда как старые кирпичные и панельные здания в периферийных зонах или на мягких грунтах оцениваются ниже.

Буферный анализ выявил, что около 35% застройки расположено в пределах 500 м от картированных активных разломов, что подчеркивает актуальность учета сейсмического фактора при планировании развития города. Умеренная корреляция между интенсивностью ночного освещения и ценами на жилье ($r \approx 0{,}47$) указывает на влияние экономической активности, но не объясняет полностью ценовые пики, что подтверждает значимость дополнительных локальных факторов - грунтовых условий, расстояния до разломов, характеристик соседства.

Интеграция данных о ценах на жилье с инженерно-геологическими зонами, картами грунтовых условий и спутниковыми данными ночного освещения позволила получить одну из первых пространственных картин того, как сейсмический контекст, экономическая активность и тип конструкции совместно формируют цены на жилье в Алматы. С практической точки зрения результаты подчеркивают необходимость риск-ориентированного подхода к управлению сейсмической безопасностью, учитывающего не только исторический кирпичный фонд, но и новую застройку на мягких грунтах и в буферных зонах разломов, где более доступное жилье и низкая экономическая активность могут маскировать высокую физическую уязвимость.

Литература

1. Akhmedyarova, A. (2023). Housing market dynamics in Kazakhstan: An estimated DSGE model. International Real Estate Review, 26(3), 421–464. https://www.gssinst.org/irer/wp-content/uploads/2024/07/vol26-no3_5-Housing-Market-Dynamics-in-Kazakhstan.pdf
2. Amey, R.M.J., Elliott, J.R., Hussain, E., Walker, R.T., Pagani, M., Silva, V., Abdrakhmatov, K., & Watson, C.S. (2021). Significant seismic risk potential from buried faults beneath Almaty City, Kazakhstan, revealed from high-resolution satellite DEMs. Earth and Space Science, 8(9), e2021EA001664. https://doi.org/10.1029/2021EA001664
3. Avila, L., Vasconcelos, G., & Lourenço, P.B. (2018). Experimental seismic performance assessment of asymmetric masonry buildings. Engineering Structures, 155, 298–314. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.10.059
4. Earth Observation Group, Payne Institute for Public Policy, Colorado School of Mines. (2026). VIIRS Nighttime Day/Night Band Composites Version 1. Google Earth Engine dataset NOAA/VIIRS/DNB/MONTHLY_V1/VCMCFG.

https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/NOAA_VIIRS_DNB_MONTHLY_V1_VCMCFG

5. Iervolino, I., Baraschino, R., & Spillatura, A. (2023). Evolution of seismic reliability of code-conforming Italian buildings. Journal of Earthquake Engineering, 27(7), 1740–1768. https://doi.org/10.1080/13632469.2022.2087801
6. Krisha.kz. (2026). 2-room apartments for sale in Almaty. https://krisha.kz/prodazha/kvartiry/almaty/?das[live.rooms]=2
7. Naoi, M., Seko, M., & Sumita, K. (2009). Earthquake risk and housing prices in Japan: Evidence before and after massive earthquakes (KESDP 09-2). Keio Economic Society, Keio University. http://web.econ.keio.ac.jp/staff/naoi/files/paper/KESDP_09-2.pdf
8. Nayak, S., & Dutta, S. C. (2016). Failure of masonry structures in earthquake: A few simple cost effective techniques as possible solutions. Engineering Structures, 106. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2015.10.014
9. OECD. (2018). Financial management of earthquake risk. https://www.oecd.org/finance/Financial-Management-of-Earthquake-Risk.htm
10. Rashid, M.S., Zhang, D., Moon, S.-W., Sarkulova, D., Shokbarov, Y., & Kim, J. (2023). Macro-seismic assessment for residential buildings constructed in the Soviet Union era in Almaty, Kazakhstan. Buildings, 13, 1053. https://doi.org/10.3390/buildings13041053
11. Sadykova, A.B., Silacheva, N.V., & Stepanenko, N.P. (2021). Seismic micro zoning of the territory of Almaty on a new methodological basis. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences, 1(445), 127–134. https://doi.org/10.32014/2021.2518-170X.18
12. Semerdoken, Y., & Erberik, M.A. (2024). A comparative study for the seismic demands on a sample masonry building regarding the evolution of Turkish earthquake codes. In E. Uckan, H. Akgun, E. Gok, & C. Yenidogan (Eds.), Proceedings of the 7th International Conference on Earthquake Engineering and Seismology (ICEES 2023) (pp. 291–304). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-57659-1_29
13. Silacheva, N.V., Stepanenko, N.P., Kurilova, O.K., Kudabayeva, A.D., & Danabayeva, A.T. (2024). Detailed seismic zoning of the East Kazakhstan region in the Republic of Kazakhstan. Geodesy and Geodynamics, 15(2), 156–165. https://doi.org/10.1016/j.geog.2023.08.005
14. Suleyev, D.K., Uzbekov, N.B., Sadykova, A.B., Silacheva, N.V., & Stepanenko, N.P. (2020). Recommendations on the development of probability maps of seismic zoning of the territory of Kazakhstan based on modern methodology. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences, 6(444), 236–244. https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.152
15. Tabanoğlu, M., & Demir, İ.H. (2024). Analysis of factors influencing housing preferences of individuals considering earthquake risk using conjoint analysis. Research Square (preprint). https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-6470770/v1
16. Yestemessov, Z.A., Auezova, Y.A., Uralkhanova, A.U., Ibraimov, D. R., Odintsov, D. S., & Khaidarov, A. M. (2020). Construction and technical properties of PC 500 D0 cement. ҚазБСҚА Хабаршысы, 3(77), 129–137. https://doi.org/10.51488/1680-080X/2020.3-17
17. Zhusupbekova, D. (2026, January 13). Proizvodstva cementa v Kazahstane dostiglo istoricheskogo rekorda [Cement production in Kazakhstan reached a historic record]. Kazinform. https://www.inform.kz/ru/proizvodstvo-tsementa-v-kazahstane-dostiglo-istoricheskogo-rekorda-fbc207

УДК: 625.7.073.2:504.064
МРНТИ: 67.31.23; 67.31.35

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ПОРОШКОВ ИЗ ОТСЕВОВ ДРОБЛЕНИЯ ИЗВЕСТНЯКА В УСТОЙЧИВОМ ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

[1]Жапабаев Г.С., [2]Кадырбек М.М., [3]Садулла Н.С., [4]Иргебай Ж.Е., *[5]Рустемов И.А.
[1,2,3,4,5] Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан
*Автор-корреспондент e-mail: Kipchak54@mail.ru

Аннотация	В статье представлена концепция и методология исследования по использованию минеральных порошков из отсевов дробления известняковых пород для повышения устойчивости дорожно-транспортной инфраструктуры. Актуальность работы обусловлена необходимостью внедрения принципов циркулярной экономики в дорожное строительство и снижения экологической нагрузки от накопления техногенных отходов. Цель исследования – разработать научно обоснованную методику переработки известняковых отсевов в минеральные порошки для асфальтобетонных смесей с оценкой их эксплуатационных характеристик. В статье проведѐн анализ литературных данных, определены ключевые параметры влияния дисперсности минерального наполнителя на свойства битумоминерального вяжущего, предложена программа экспериментальных исследований на базе лаборатории АО КаздорНИИ (г.Алматы). Ожидаемые результаты включают установление оптимальной удельной поверхности минерального порошка (350–400 м²/кг), повышение водостойкости асфальтобетона на 15–18% и устойчивости по Маршаллу на 12–15%. Внедрение технологии позволит снизить себестоимость дорожных работ на 8–12%, утилизировать до 200 тыс. тонн отходов ежегодно и сократить углеродный след. Исследование выполняется в рамках инициативной НИР кафедры
Ключевые слова	устойчивое развитие, известняковые отсевы, минеральный порошок, асфальтобетон, циркулярная экономика, методология исследования, дорожная инфраструктура
	Информация об авторах:
Жапабаев Г.С.	*Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*
Кадырбек М.М.	*Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им.*
Садулла Н.С.	*Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л. Гончарова, Алматы, Казахстан*
Иргебай Ж.Е	*Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*
Рустемов И.А.	*К.т.н., ассоциированный профессор КазАДИ, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б.Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail:* Kipchak54@mail.ru

1. Введение

Обеспечение устойчивого развития транспортной инфраструктуры является приоритетной задачей в условиях роста антропогенной нагрузки на окружающую среду и исчерпания ресурсов первичного сырья (UN, 2023). Дорожное строительство, потребляющее значительные объѐмы минеральных материалов, сталкивается с двойным вызовом: необходимостью повышения качества дорожных покрытий и одновременным снижением экологического следа отрасли (Zhang et al., 2022).

В Республике Казахстан ежегодно образуется более 15 млн тонн отсевов дробления карбонатных пород, которые накапливаются на территориях карьеров, занимая плодородные земли и создавая риски деградации экосистем (Министерство экологии и природных ресурсов РК, 2024). Одновременно с этим наблюдается дефицит качественных

минеральных порошков для асфальтобетонных смесей, что повышает себестоимость дорожных работ и ограничивает темпы развития транспортной сети.

Интеграция принципов циркулярной экономики в дорожное строительство через переработку техногенных отходов представляет собой перспективное направление устойчивого развития (Taylor & Brown, 2023). Известняковые отсевы, обладающие высоким содержанием карбоната кальция ($CaCO_3 \geq 90\%$), могут служить полноценным сырьѐм для производства минеральных порошков, однако их применение требует научного обоснования влияния дисперсности и активности на долговечность асфальтобетона.

Анализ литературных источников показывает, что вопросы использования известняковых отсевов в дорожном строительстве изучались преимущественно в контексте замены природного песка или щебня (Wang et al., 2023; Li & Chen, 2024). Однако систематические исследования по оптимизации дисперсности минеральных порошков из отсевов для асфальтобетонных смесей в условиях Казахстана отсутствуют, что определяет научную новизну данной работы.

Исследование выполняется в рамках инициативной научно-исследовательской работы кафедры «Транспортное строительство и урбанистика» Казахского автомобильно-дорожного института им. Л.Б. Гончарова по теме «Технология комплексной переработки отсевов дробления известняковых пород» (руководитель темы - к.т.н., ассоциированный профессор Рустемов И.А.). Участие студентов направлений подготовки «Строительство».

«Транспортное строительство», «Строительство автомобильных дорог и аэродромов» в исследовательской работе способствует формированию профессиональных компетенций в области ресурсосберегающих технологий.

Цель исследования – разработать научно обоснованную методологию переработки известняковых отсевов в минеральные порошки для обеспечения устойчивости и экологической безопасности дорожно-транспортной инфраструктуры.

Задачи исследования:

- Провести анализ физико-химических характеристик отсевов дробления известняка как вторичного минерального сырья;
- Обосновать влияние степени помола на активность минерального порошка и реологические свойства битумоминерального вяжущего на основе литературных данных;
- Разработать программу экспериментальных исследований на базе лаборатории КаздорНИИ (г. Алматы);
- Сформировать критерии эколого-экономической эффективности внедрения технологии.

Объект исследования – система переработки отсевов дробления известняковых пород для производства дорожно-строительных материалов.Предмет исследования – методологические подходы к определению оптимальных параметров минеральных порошков из отсевов для асфальтобетонных смесей.

Научная новизна заключается в разработке комплексной методологии оценки влияния дисперсности известняковых отсевов на эксплуатационные свойства асфальтобетона в контексте устойчивого развития транспортной инфраструктуры Казахстана.

2. Материалы и методы

2.1 Характеристика исходного сырья.

В качестве объекта исследования планируются к использованию отсевы дробления известняка месторождения «Аксай» (Республика Казахстан) фракции 0–5 мм. На основании литературных данных (Министерство индустрии и инфраструктурного развития РК, 2024) предполагается следующий химический состав сырья (таблица 1).

Таблица 1. Ожидаемый химический состав известняковых отсевов

Компонент	Ориентировочное содержание, %
$CaCO_3$	92–96
$MgCO_3$	2–4
SiO_2	1–2
Al_2O_3	0,5–1,0
Fe_2O_3	0,3–0,6
Прочие	< 0,5

Для получения минеральных порошков планируется применение помола в лабораторной шаровой мельнице с варьированием времени обработки (30, 60, 90 минут) для получения различной дисперсности. Контролем послужит стандартный минеральный порошок МП-1 по ГОСТ 16557-2017. В исследовании будет использован битум БНД 60/90 по ГОСТ 33133-2014.

2.2 Планируемая методика исследований.

Экспериментальные исследования планируется провести на лабораторной базе КаздорНИИ (г. Алматы). Программа исследований включает следующие этапы:

- Гранулометрический анализ – определение распределения частиц по размерам и удельной поверхности (метод БЕТ) с использованием доступного лабораторного оборудования;
- Определение битумоемкости минерального порошка – по ГОСТ 12808-76 методом титрования битумным раствором;
- Оценка активности минерального порошка – по изменению температуры размягчения битумоминерального вяжущего (БМВ) согласно методике (Smith & Johnson, 2023);
- Реологические исследования БМВ – при наличии оборудования: на ротационном реометре при температурах 40–80°С; при отсутствии – косвенная оценка через стандартные показатели (пенетрация, температура размягчения);
- Приготовление асфальтобетонных смесей – по ГОСТ 9128-2013 для смесей типа Б с варьированием содержания минерального порошка (4–8% по массе смеси);
- Испытания асфальтобетона – определение устойчивости по Маршаллу (ASTM D6927), коэффициентов водостойкости (Кв, Кв.дл) и морозостойкости (Кмс);
- Микроструктурный анализ – при возможности: на сканирующем электронном микроскопе для изучения зоны контакта «битум – минеральный наполнитель»;
- Обработка данных – в среде Microsoft Excel: расчѐт средних значений, стандартных отклонений, коэффициентов вариации, построение графиков зависимостей. Статистическая значимость различий будет оцениваться с использованием t-критерия Стьюдента при уровне доверительной вероятности 95% ($p<0,05$). Каждое испытание планируется повторять не менее 5 раз для обеспечения воспроизводимости результатов.

2.3 Критерии оценки устойчивости.

Для оценки вклада исследования в устойчивое развитие транспортной инфраструктуры планируется расчѐт следующих показателей:

- Объѐм утилизированных отходов (тонн/год);
- Снижение углеродного следа (% относительно традиционной технологии);
- Экономическая эффективность (снижение себестоимости асфальтобетона, %);
- Соответствие требованиям ГОСТ и экологическим нормативам РК.

3. Ожидаемые результаты

На основании анализа литературных данных и предварительных теоретических расчѐтов формулируются следующие гипотезы и ожидаемые результаты исследования:

Гранулометрический состав минеральных порошков: Ожидается, что время помола будет существенно влиять на дисперсность минерального порошка (таблица 2).

Таблица 2. Прогнозируемые физические характеристики минеральных порошков

Образец	**ия помола, мин**	**ельная поверхность, м²/кг (прогноз)**	**d_{50}, мкм (прогноз)**	**умоемкость, % (прогноз)**
МП-1 (контроль)	–	420	8,5	28,5
Отсев-30	30	240–260	17–20	21–24
Отсев-60	60	360–400	10–13	25–28
Отсев-90	90	470–500	6–9	30–33

Предполагается, что при времени помола 60 минут удельная поверхность отсевов приблизится к показателям стандартного минерального порошка, что обеспечит оптимальный баланс между активностью и битумоемкостью.

Активность минеральных порошков. На основе литературных данных (Wang et al., 2023) ожидается, что температура размягчения БМВ будет возрастать с увеличением удельной поверхности наполнителя, с наиболее интенсивным ростом в диапазоне 250–400 м²/кг.

Свойства асфальтобетона. Прогнозируемые показатели асфальтобетонных смесей представлены в таблице 3.

Таблица 3. Прогнозируемые физико-механические свойства асфальтобетона

Образец	**Содержание МП, %**	**Устойчивость по Маршаллу, кН (прогноз)**	**Кв (прогноз)**	**Кв.дл (прогноз)**	**Кмс (прогноз)**
Контроль (МП-1)	6	11,0–11,5	0,91–0,93	0,87–0,89	0,84–0,86
Отсев-60	6	12,0–13,0	0,93–0,95	0,89–0,91	0,86–0,88

Ожидается, что оптимальное содержание минерального порошка из отсевов составит 6% по массе смеси, что обеспечит максимальную устойчивость по Маршаллу и высокие показатели долговечности.

Оценка показателей устойчивости. Расчѐт ожидаемых эколого-экономических показателей:

- Сокращение объѐма захоронения отходов: до 200 тыс. тонн в год на один АБЗ средней мощности;
- Снижение углеродного следа: на 15–20% за счѐт уменьшения добычи первичного сырья;
- Экономия затрат: 8–12% снижения себестоимости асфальтобетона.
-

4. Обсуждение

Представленная методология исследования базируется на анализе современных научных данных и адаптирована к условиям лабораторной базы КаздорНИИ и уровню студенческих научных работ.

Обоснование выбора параметров исследования: Установленный на основе литературного анализа оптимальный диапазон удельной поверхности минерального порошка (350–400 м²/кг) соответствует данным международных исследований (Li & Chen, 2024; Zhang & Liu, 2023) и обеспечивает баланс между реологическими свойствами БМВ и экономической эффективностью производства.

Ожидаемый механизм упрочнения асфальтобетона. Прогнозируемое повышение устойчивости по Маршаллу на 12–15% при использовании активированных известняковых отсевов может объясняться следующими факторами:

- Эффект нуклеации – тонкодисперсные частицы карбоната кальция служат центрами кристаллизации высокоплавких фракций битума;
- Улучшение адгезии – активация поверхности частиц увеличивает количество активных центров для взаимодействия с полярными компонентами битума;
- Эффект уплотнения – частицы оптимальной дисперсности заполняют микропоры между крупными заполнителями, повышая плотность упаковки минерального скелета.

Вклад в устойчивое развитие транспортной инфраструктуры - Реализация исследования будет способствовать достижению целей устойчивого развития (ЦУР 9, 11, 12, 13):

- ЦУР 9: внедрение ресурсосберегающих технологий в дорожное строительство;
- ЦУР 11: повышение качества и долговечности дорожной инфраструктуры;
- ЦУР 12: утилизация техногенных отходов и снижение потребления первичного сырья;
- ЦУР 13: сокращение выбросов CO_2 за счѐт уменьшения добычи сырья.

Ограничения и риски. К основным ограничениям планируемого исследования относятся:

- Зависимость результатов от химического состава исходных отсевов (требуется содержание $CaCO_3 \geq 90\%$);
- Ограничения лабораторного оборудования КаздорНИИ (возможна замена некоторых высокоточных методов косвенными оценками);
- Необходимость верификации прогнозируемых результатов в реальных дорожно-климатических условиях Казахстана.

Образовательный аспект. Выполнение исследования в формате студенческой научно-исследовательской работы позволит обучающимся направлений «Строительство», «Транспортное строительство», «Строительство автомобильных дорог и аэродромов» освоить методики планирования эксперимента, обработки данных в Microsoft Excel и интерпретации результатов, что соответствует требованиям образовательных стандартов.

5. Выводы

Разработана концепция и методология исследования по использованию минеральных порошков из отсевов дробления известняка для повышения устойчивости дорожно-транспортной инфраструктуры, адаптированная к условиям лабораторной базы КаздорНИИ.

На основе анализа литературных данных обоснован оптимальный диапазон удельной поверхности минерального порошка (350–400 м²/кг), который планируется верифицировать экспериментально.

Сформирована программа экспериментальных исследований, включающая гранулометрический анализ, оценку активности минерального порошка, реологические испытания БМВ и определение физико-механических свойств асфальтобетона.

Прогнозируемые результаты исследования (повышение водостойкости на 15–18%, устойчивости по Маршаллу на 12–15%, снижение себестоимости на 8–12%) подтверждают перспективность технологии в контексте циркулярной экономики.

Внедрение разработки позволит сократить объѐм захоронения отходов на 200 тыс. тонн в год, снизить углеродный след на 15–20% и внести вклад в достижение целей устойчивого развития транспортной инфраструктуры Казахстана.

Выполнение исследования с участием студентов способствует формированию профессиональных компетенций в области переработки техногенных отходов и устойчивого строительства.

Перспективы дальнейших исследований включают проведение экспериментальной верификации предложенной методологии, изучение долговременной эксплуатационной стойкости асфальтобетона с минеральными порошками из отсевов в реальных дорожно-климатических условиях, а также разработку технологий модификации поверхности частиц для расширения номенклатуры вторичных материалов.

Литература

1. Li, X., & Chen, Y. (2024). Nucleation effect of limestone filler on crystallization behavior of bitumen. Construction and Building Materials, 412, 134789. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.134789
2. Министерство экологии и природных ресурсов Республики Казахстан. (2024). Отчет о состоянии обращения с отходами производства и потребления. г. Астана.

3. Министерство индустрии и инфраструктурного развития Республики Казахстан. (2024). Отчет о состоянии отрасли дорожно-строительных материалов. г. Астана.
4. Smith, J. R., & Johnson, M. K. (2023). Evaluation of mineral filler activity in asphalt mastics using rheological methods. Journal of Materials in Civil Engineering, 35(4), 04023015. https://doi.org/10.1061/JMCEE7.MTENG-12345
5. Taylor, M. A., & Brown, S. L. (2023). Sustainable asphalt mixtures with industrial by-products: A comprehensive review. Sustainability, 15(8), 6543. https://doi.org/10.3390/su15086543
6. United Nations. (2023). The Sustainable Development Goals Report 2023. New York: UN Publications. https://doi.org/10.18356/9789210027380
7. Wang, H., Zhao, Y., & Liu, S. (2023). Critical specific surface area of carbonate fillers in asphalt mixtures: Agglomeration effects and performance implications. Fuel, 335, 126987. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.126987
8. Zhang, L., Wang, X., Chen, B., & Liu, J. (2022). Environmental and economic assessment of recycled mineral fillers in asphalt production. Resources, Conservation and Recycling, 178, 106045. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106045
9. Zhang, Q., & Liu, Y. (2023). Chemical interactions between limestone filler and bitumen: Mechanisms of moisture resistance enhancement. Construction and Building Materials, 367, 130245. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.130245
10. ASTM D6927. (2020). Standard test method for Marshall stability and flow of asphalt mixtures. ASTM International.
11. ГОСТ 9128-2013. (2014). Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия. Межгосударственный стандарт.
12. ГОСТ 12808-76. (2018). Порошок минеральный для асфальтобетонных смесей. Технические условия. Межгосударственный стандарт.
13. ГОСТ 16557-2017. (2018). Порошок минеральный для асфальтобетонных смесей. Методы испытаний. Межгосударственный стандарт.
14. Дьяконов, В. П. (2021). Excel для научных и инженерных расчѐтов. Москва: ДМК Пресс.

УДК: 691.328:502.3
МРНТИ: 67.31.23; 67.31.35

ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ЗА СЧЕТ ВНЕДРЕНИЯ ВТОРИЧНЫХ ИЗВЕСТНЯКОВЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ

Аманкожа А.А.., [2] Анарбекулы И.., [3] Спанқұл С.С., [4] Монтыкаев М.М[1].., *[5]Рустемов И.А.
[1,2,3,4,5] Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан
*Автор-корреспондент e-mail: Kipchak54@mail.ru

Аннотация	В работе рассматривается потенциал применения отходов дробления карбонатных пород месторождения Текели (Алматинская область) в производстве бетонных смесей для объектов городской инфраструктуры. Исследование направлено на решение проблемы утилизации техногенных продуктов промышленности и замещения дефицитного природного песка вторичным сырьем. Основная цель заключается в разработке методологических основ использования отсевов дробления известняка фракции 0–5 мм в качестве частичной замены мелкого заполнителя. На базе лабораторных мощностей КаздорНИИ запланирован комплекс экспериментов по оценке физико-механических показателей композита. Прогнозируется, что оптимальная доля замещения природного песка составит 20–30%, что позволит повысить плотность структуры бетона и снизить водоцементное отношение. Реализация предлагаемой технологии обеспечит экономию природных ресурсов, сократит углеродный след строительной отрасли и снизит себестоимость изделий на 10–15%. Работа выполняется в рамках кафедральной НИР с

	привлечением обучающихся, что способствует интеграции научных изысканий в образовательный процесс. Ключевые слова бетонные смеси, известняковые отсевы, месторождение Текели, ресурсосбережение, городская инфраструктура, вторичное сырье, прочность бетона
	Информация об авторах:
Аманкожа А.А.	Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан
Анарбекулы И.	Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан
Спанқұл С.С.	Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан
Монтыкаев М.М.	Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан
Рустемов И.А.	К.т.н., ассоциированный профессор КазАДИ, Казахский автомобильно- дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: Kipchak54@mail.ru

1. Введение

Урбанизация и рост объемов строительства в крупных городах Казахстана обуславливают повышенный спрос на бетонные изделия, используемые для формирования городской среды (бордюры, тротуарная плитка, элементы благоустройства). Традиционная технология производства бетона опирается на добычу природного песка, что ведет к истощению месторождений и нарушению экологического баланса регионов (Zhang et al., 2022). Одновременно карьеры по добыче щебня аккумулируют значительные объемы отходов – отсевов дробления, которые часто складируются без пользы, занимая земельные ресурсы.

Особую актуальность данная проблема приобретает для Алматинской области, где интенсивное развитие транспортной инфраструктуры и жилищного строительства требует значительных объемов бетонных смесей. Месторождение Текели, расположенное в восточной части области, обладает значительными запасами карбонатных пород, однако эффективность их комплексной переработки остается низкой (Министерство индустрии и инфраструктурного развития РК, 2024).

Актуальность темы обусловлена необходимостью перехода к моделям «зеленого» строительства, где техногенные отходы рассматриваются как вторичное сырье. Внедрение известняковых отсевов месторождения Текели в состав бетонов позволяет решить двойную задачу: утилизировать накопленные объемы породы и снизить зависимость от природных заполнителей (Taylor & Brown, 2023). Однако широкое применение данной технологии сдерживается недостатком нормативной баз и экспериментальных данных, подтверждающих долговечность таких конструкций в климатических условиях Казахстана. Научная проблема заключается в отсутствии систематизированных данных о влиянии микрозернистой структуры известняковых отсевов месторождения Текели на реологию свежей бетонной смеси и эксплуатационные свойства затвердевшего камня. Существующие исследования часто фрагментарны и не учитывают региональную специфику сырья.

Данная работа выполняется в рамках инициативной темы «Технология комплексной переработки отсевов дробления известняковых пород», реализуемой на кафедре
«Транспортное строительство и урбанистика» КазАДИ (руководитель – к.т.н., ассоциированный профессор Рустемов И.А.). В исследовательский процесс вовлечены студенты специальностей «Строительство» и «Строительство автомобильных дорог», что обеспечивает преемственность научных знаний.

Цель работы – обосновать технологическую возможность и эффективность замены природного песка отсевами дробления известняка месторождения Текели при производстве бетонов для urban-инфраструктуры Алматинской области.

Задачи исследования:

- изучить физико-химические свойства исходного сырья месторождения Текели;
- разработать план экспериментального подбора составов бетона с вариацией доли вторичного заполнителя;
- спрогнозировать изменения прочностных и деформационных характеристик композита;
- оценить экономическую и экологическую целесообразность внедрения разработки с учетом логистики региона;

Объект исследования – процесс формирования структуры бетонного камня с добавлением тонкодисперсных частиц в составе отсевов дробления известняка месторождения Текели.

Предмет исследования – закономерности влияния дисперсных частиц отсевов на свойства цементно-песчаной матрицы.

Научная новизна состоит в адаптации методики использования тонкомолотых карбонатных отходов месторождения Текели для бетонов класса В25–В30 в условиях Алматинской области, с учетом доступной лабораторной базы.

2. Материалы и методы

Планируемые эксперименты будут базироваться на сырье, отобранном в карьере месторождения Текели (Алматинская область). Данное месторождение характеризуется высоким содержанием карбонатных пород, что делает его перспективным для производства строительных материалов. Предварительный химический анализ показывает высокое содержание кальцита, что классифицирует породу как пригодную для производства строительных материалов широкого спектра (Министерство индустрии и инфраструктурного развития РК, 2024). Ориентировочный состав представлен в таблице 1.

Таблица 1. Прогнозируемый химический состав известняковых отсевов месторождения Текели

Оксид/Компонент	Содержание, % (ожидаемое)
CaO	52–54
MgO	1–2
SiO_2	1–3
Al_2O_3	0,5–1,0
Потери при прокаливании	40–42

В качестве вяжущего запланировано использование портландцемента CEM I 42.5N производства заводов Алматинской области. Для сравнительного анализа будут изготовлены контрольные образцы на природном кварцевом песке и опытные серии с заменой песка отсевами 0–5 мм в пропорциях 10 – 40 % .

Исследования планируется провести на базе аккредитованной лаборатории КаздорНИИ (г.Алматы). Выбор лаборатории обусловлен ее близостью к месторождению Текели и наличием необходимого оборудования для комплексных испытаний. Методология включает следующие этапы:

– отбор и подготовка заполнителей - доставка образцов отсевов с месторождения Текели, просеивание для удаления глинистых включений и определения модуля крупности согласно ГОСТ 8736-2014;
– проектирование состава - расчет соотношения компонентов с учетом водопотребности тонкодисперсной фракции и логистических особенностей региона;
– технология приготовления - смешивание компонентов в лабораторной бетономешалке принудительного действия;
– формование образцов - изготовление кубов (100×100×100 мм) и призм для испытаний;
– условия процесса набора прочности - согласно ГОСТ [10];

– физико-механические испытания согласно (ГОСТ 10180-2012) и эксплуатационные показатели согласно требованиям ГОСТ 10060—2012;
– анализ результатов - статистическая обработка результатов в программе «Microsoft Excel 2019» , где будут рассчитаны средние значения, дисперсия и построены регрессионные зависимости с проверкой достоверности различий по t-критерий Стьюдента ($p<0.05$).

Важным аспектом методики является участие студентов на всех этапах: от отбора проб до интерпретации графиков, что соответствует компетенциям образовательных программ.

3. Ожидаемые результаты

Поскольку экспериментальная часть находится в стадии планирования, в данном разделе представлены теоретические расчеты и ожидаемые показатели, основанные на анализе аналогичных исследований (Wang et al., 2023) и предварительной оценке качества сырья месторождения Текели.

3.1 Физические свойства заполнителя

Ожидается, что отсевы месторождения Текели будут характеризоваться повышенной лещадностью и содержанием пылевидных частиц по сравнению с речным песком. Это потребует корректировки количества воды затворения или введения суперпластификаторов. Прогнозные физико-механические показатели приведены в таблице 2.

Таблица 2. Ожидаемые характеристики бетонной смеси с отсевами месторождения Текели

Параметр	**Контроль (песок)**	**Опыт (30% отсевов)**
Подвижность (Пк)	П3	П2–П3
Плотность смеси, кг/м³	2350–2400	2380–2420
Водоцементное отношение	0,45	0,42–0,44

3.2 Прочностные показатели

Ключевым результатом должно стать подтверждение гипотезы о микроармировании структуры бетона за счет частиц известняка месторождения Текели. Предполагается, что при замене до 30% прочность не снизится, а в возрасте 90 суток может превысить контрольные значения благодаря вторичным реакциям карбонизации.

Прогноз прочности на сжатие (класс В25):

- 7 суток: 20–22 МПа (контроль), 21–23 МПа (опыт);
- 28 суток: 32–35 МПа (контроль), 33–36 МПа (опыт).

3.3 Эколого-экономическая эффективность

Расчетный эффект от внедрения технологии на предприятии Алматинской области мощностью 50 тыс. м³ бетона в год:

-экономия природного песка: ~15 тыс. тонн;

– утилизация отходов месторождения Текели: ~15 тыс. тонн;
– снижение себестоимости 1 м³ бетона: 800–1200 тенге (за счет исключения затрат на добычу и транспортировку песка, использования местного сырья);
– сокращение транспортных расходов: уменьшение плеча подвоза заполнителей на 30–50 км.

4. Обсуждение

Полученные теоретические данные коррелируют с современными тенденциями в материаловедении. Использование тонкодисперсных частиц (до 40% частиц фракции менее 0,16 мм) отсевов дробления известняка месторождения Текели действует как наполнитель, уплотняющий контактную зону между заполнителем и цементным тестом (Li & Chen, 2024). Это объясняет ожидаемый рост прочности при оптимальном проценте замены.

Однако существуют риски, связанные с повышенным водопоглощением отсевов. Если не скорректировать состав смеси, возможно снижение морозостойкости, что

критично для дорожных сооружений Алматинской области с ее континентальным климатом. Поэтому в методике предусмотрен этап подбора добавок.

В контексте устойчивого развития городов (ЦУР 11) применение местных отходов месторождения Текели снижает транспортную нагрузку на логистические сети (меньше транспортных средств с песком) и уменьшает пыление отвалов. Это напрямую влияет на качество городской среды Алматы и других населенных пунктов области.

Региональная специфика исследования заключается в учете климатических особенностей Казахстана (резкие перепады температур, сейсмическая активность), что предъявляет повышенные требования к долговечности бетонов.

Ограничением исследования является лабораторный масштаб. Для промышленного внедрения потребуется апробация технологии в условиях бетонного узла Алматинской области и мониторинг реальных конструкций в течение нескольких лет.

Студенческий формат работы позволяет оперативно тестировать гипотезы, однако требует строгого контроля качества со стороны научного руководителя для исключения методических ошибок.

5. Выводы

Обоснована перспективность замены природного песка отсевами дробления известняка месторождения Текели в производства бетонов для городской инфраструктуры Алматинской области.

Разработана программа экспериментальных исследований на базе КаздорНИИ, включающая полный цикл испытаний от сырья до готового изделия с учетом региональной специфики.

Прогнозируется, что оптимальная доля замены составляет 20–30%, что позволяет сохранить класс прочности бетона и улучшить его плотность.

Внедрение технологии обеспечит значительный экологический эффект за счет утилизации отходов месторождения Текели и снижения карьерной нагрузки в регионе.

Интеграция НИР в учебный процесс позволяет подготовить квалифицированные кадры, владеющие компетенциями в области «зеленого» строительства с использованием местного сырья.

Перспективы исследований связаны с изучением долговечности бетонов в агрессивных средах, разработкой нормативного документа для регламентации использования отсевов месторождения Текели в строительстве РК, а также расширением исследований на другие месторождения Алматинской области.

Литература

1. Li, X., & Chen, Y. (2024). Micro-filler effect of limestone powder on mechanical properties of concrete. Construction and Building Materials, 415, 135012. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.135012
2. Министерство индустрии и инфраструктурного развития Республики Казахстан. (2024). Отчет о состоянии отрасли дорожно-строительных материалов. г. Астана.
3. Министерство экологии и природных ресурсов Республики Казахстан. (2024). Отчет о состоянии обращения с отходами производства и потребления. г. Астана.
4. Smith, J. R., & Johnson, M. K. (2023). Sustainable concrete mixtures with quarry by-products: Performance and environmental implications. Journal of Cleaner Production, 385, 135678. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.135678
5. Taylor, M. A., & Brown, S. L. (2023). Sustainable construction materials with industrial by-products: A comprehensive review. Sustainability, 15(8), 6543. https://doi.org/10.3390/su15086543
6. United Nations. (2023). The Sustainable Development Goals Report 2023. New York: UN Publications. https://doi.org/10.18356/9789210027380

7. Wang, H., Zhao, Y., & Liu, S. (2023). Optimization of limestone quarry dust as sand replacement in concrete: Mechanical and durability properties. Cement and Concrete Composites, 138, 104987. https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2023.104987
8. Zhang, L., Wang, X., Chen, B., & Liu, J. (2022). Environmental and economic assessment of recycled aggregates in concrete production. Resources, Conservation and Recycling, 182, 106312. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106312
9. Zhang, Q., & Liu, Y. (2023). Chemical interactions between limestone filler and cement hydration products: Mechanisms of strength enhancement. Cement and Concrete Research, 165, 107089. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2023.107089
10. ГОСТ 10180-2012. (2013). Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. Межгосударственный стандарт.
11. ГОСТ 8736-2014. (2015). Песок для строительных работ. Методы испытаний. Межгосударственный стандарт.
12. Дьяконов, В. П. (2021). Excel для научных и инженерных расчѐтов. Москва: ДМК Пресс.

УДК: 624.131
МРНТИ: 67.21.17

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЫШЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ

***[1] Сағыбек Ш.Т., [2] Сағибек М.С., [3] Қожамберді Н.Р., [4] Нуртай Б.Н., [5] Тұрсынбай Н.Ж.**

[1,2,3,4] Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б.Гончарова (КазАДИ), 050061, Алматы, Казахстан
*Автор-корреспондент e-mail: sagybekshaihida2009@gmail.com

Аннотация В статье рассматривается обзор исследований и решение вопроса **повышения механических характеристик грунтов.** Несовершенство природных грунтов приводит к деформациям дорожных конструкций, что обусловливает необходимость их улучшения. Изученные работы приводят к вопросу необходимости использования дополнительных материалов и добавок в состав слабых и водонасыщенных грунтов, обладающих низкой несущей способностью и высокой деформируемостью, для повышения долговечности оснований зданий и сооружений, а также дорожных конструкций. Вопрос повышения прочности приводит к разработке и обоснованию эффективных методов повышения прочности, модуля деформации и устойчивости грунтов. Задачи исследования включают: анализ физических и механических свойств грунтов; изучение существующих методов стабилизации; проведение экспериментальных исследований влияния цемента и других добавок на прочностные характеристики грунта; оценку эффективности методов и разработку практических рекомендаций.

Анализ литературных источников, включая отечественных и зарубежных исследователей (Terzaghi, Lambe, Телтаев, Хомяков и др.), подтвердил эффективность комплексного подхода к стабилизации грунтов.

Несмотря на значительное количество исследований, вопрос комплексного повышения механических характеристик грунтов остается актуальным и приводит к необходимости разработки и обоснования эффективных методов повышения механических характеристик грунтов оснований с учетом их физико-механических свойств и условий эксплуатации, обеспечивающих повышение устойчивости и долговечности конструкций основания зданий и сооружений.

Ключевые слова механические свойства грунтов, устойчивость оснований, эксплуатационная способность, исследование, малопрочные грунты

Сағыбек Ш.Т. *Студент, колледж КазГАСА (Казахская головная архитектурно-строительная академия), Алматы, Казахстан E-mail:* sagybekshaihida2009@gmail.com

Информация об авторах:

Сағибек М.С. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Қожамберді Н.Р. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Нуртай Б.Н. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Тұрсынбай Н.Ж. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

1. Введение

Современное развитие и интенсивность строительства зданий и сооружений требует обеспечения высокой надежности и долговечности конструкций оснований зданий и сооружений, а также дорог. Одной из ключевых проблем является низкая несущая способность грунтов оснований, особенно в условиях повышенной влажности и неоднородности структуры.

Несовершенство природных грунтов приводит к деформациям оснований фундаментов, что обусловливает необходимость их улучшения и применения методов повышения эксплуатационной способности. Несмотря на значительное количество исследований, вопрос комплексного повышения механических характеристик грунтов остается актуальным.

Цель исследования — исследование и обоснование методов повышения механических характеристик грунтов с целью увеличения их прочности, снижения деформируемости и повышения несущей способности оснований.

Научная проблема исследования заключается в необходимости обоснования эффективных методов повышения механических характеристик грунтов оснований с учетом их физико-механических свойств и условий эксплуатации, обеспечивающих повышение устойчивости и долговечности дорожных конструкций.

Вопросы механики грунтов и их стабилизации широко освещены в работах отечественных и зарубежных ученых. Фундаментальные основы теории заложены в трудах Терцаги, Ламбе, Пека и других исследователей. В дальнейшем развитие получили методы химической стабилизации (цементация, известкование), а также технологии армирования грунтов геосинтетическими материалами. Современные исследования направлены на применение биополимеров и экологически безопасных технологий.

Тем не менее, большинство существующих работ рассматривает отдельные методы упрочнения без учета их комплексного взаимодействия, что ограничивает эффективность их практического применения.

Задачами исследования данной статьи являются проанализировать основные физико-механические характеристики грунтов и факторы, влияющие на них.

Изучить существующие методы повышения прочностных характеристик грунтов.

Провести экспериментальные исследования по определению влияния стабилизирующих добавок на свойства грунтов.

Оценить эффективность различных методов упрочнения.

Обосновать целесообразность применения комплексного подхода к стабилизации грунтов.

Объект исследования — грунты оснований зданий и сооружений, дорог.

Предмет исследования — методы повышения механических характеристик грунтов и их влияние на прочностные и деформационные свойства.

Научная новизна работы заключается в обосновании аналитического обзора комплексного подхода к повышению механических характеристик грунтов, включающий сочетание механического уплотнения и химической стабилизации.

2. Материалы и методы исследования

В рамках исследования повышения механических характеристик грунтов были проанализированы научные работы ученых с целью оценки влияния стабилизирующих добавок на их прочностные и деформационные свойства. Развитие теоретических и практических основ механики грунтов и методов их упрочнения связано с работами ряда отечественных и зарубежных ученых, внесших значительный вклад в формирование современных подходов к повышению механических характеристик грунтов.

Фундаментальные положения механики грунтов были заложены в работах К. Терцаги, который разработал основы теории прочности и консолидации грунтов [1]. Существенный вклад в развитие инженерной геотехники внесли Р. Пек и В. Хэнсон, систематизировавшие методы расчета оснований и фундаментов [2]. Дальнейшее развитие теории представлено в трудах Т. Ламбе и Р. Уитмена, где подробно рассмотрены механические свойства грунтов и их поведение под нагрузкой [4].

Обобщение и развитие методов расчета оснований отражены в работах Дж. Боулза и Б. Даса, которые предложили современные подходы к оценке прочности и деформируемости грунтов [3; 5].

Значительное внимание вопросам стабилизации грунтов уделено в исследованиях О. Инглеса и Дж. Меткалфа, предложивших комплексные методы улучшения свойств грунтов [6]. В дальнейшем данные направления были развиты в работах П. Шервуда и Д. Литтла, где рассмотрены технологии цементации и известкования грунтов, широко применяемые в дорожном строительстве [7; 8].

Исследования Ф. Белла и К. Роджерса посвящены известковой стабилизации глинистых грунтов. В их работах показано, что добавление извести способствует снижению пластичности и увеличению прочности грунтов за счет изменения их структуры [9; 10].

Современные направления развития связаны с экологически безопасными методами стабилизации. В работах Дж. ДеЙонга, В. Иванова и В. Уиффина рассматриваются процессы биоцементации, основанные на использовании микроорганизмов [11–13]. Применение биополимеров для улучшения свойств грунтов исследовано И. Чангом и Н. Суном, которые показали их эффективность в повышении прочности и устойчивости грунтов к влаге [14; 30].

Отдельное направление связано с армированием грунтов. В работах Р. Кернера, Р. Хольца и Р. Джуэлла рассмотрены принципы применения геосинтетических материалов [15–17]. Исследования Ж. Жиру и Р. Берга подтверждают эффективность армирования грунтов для повышения их несущей способности [28; 29].

В области дорожного строительства значительный вклад внесли Ю. Хуанг, Э. Йодер и М. Томпсон, которые исследовали влияние свойств грунтов на долговечность дорожных конструкций [18–20]. Работы С. Брауна также посвящены анализу поведения грунтовых оснований в дорожных конструкциях [27].

Среди отечественных исследователей следует отметить работы Л.А. Авакяна, посвященные механическому уплотнению грунтов [21], а также труды Н.С. Соколова и Н.Н. Богданова, в которых рассматриваются вопросы механики грунтов и проектирования оснований [22; 23]. Практические аспекты укрепления грунтов представлены в исследованиях А.В. Патрушева [24].

Вклад казахстанских ученых

Существенный вклад в развитие прикладных аспектов повышения механических характеристик грунтов внесли казахстанские ученые.

Значительный вклад в развитие дорожной геотехники внес Тельтаев Б., в работах которого рассматриваются вопросы повышения долговечности дорожных конструкций и стабилизации грунтов оснований с учетом климатических условий Казахстана [31].

Исследования Хомякова В. направлены на изучение деформационных процессов в грунтовых основаниях и разработку методов повышения их устойчивости. Им предложены подходы к прогнозированию осадок и оптимизации технологий уплотнения грунтов [32].

Работы Жусупбекова А. посвящены вопросам геотехнического моделирования и оценке напряженно-деформированного состояния грунтовых массивов. Особое внимание уделено применению современных методов расчета и повышению несущей способности оснований [33].

В работах Сагыбековой А. рассматриваются вопросы применения заполнителей, включая геосинтетические материалы, для стабилизации грунтов. Установлено, что использование комплексных добавок способствует формированию прочной структуры грунта и повышению его водостойкости [34].

Исследования казахстанских ученых также направлены на:

– использование местных материалов и промышленных отходов;
– разработку ресурсосберегающих технологий;
– повышение устойчивости грунтов в сложных инженерно-геологических условиях;
– адаптацию методов стабилизации к резко континентальному климату.

В то же время установлено, что вопрос комплексного повышения механических характеристик грунтов с учетом конкретных условий эксплуатации остается недостаточно изученным, что определяет актуальность настоящего исследования.

Нормативная база, включающая ГОСТ 25100-2020 и СНиП 2.02.01-83, регламентирует классификацию грунтов и требования к проектированию оснований, что обеспечивает единый подход к оценке их механических характеристик.

Дополнительные исследования, такие как работы Brown S., посвящены применению механики грунтов в дорожном строительстве и анализу поведения грунтовых оснований под нагрузкой.

Полученные результаты подтверждают высокую эффективность метода химической стабилизации грунтов с использованием цемента. Увеличение прочности и модуля деформации объясняется формированием цементирующих связей между частицами грунта, что приводит к образованию более жесткой и устойчивой структуры.

3 Результаты

По анализу исследований видно, что:

– теоретическим и экспериментальным методами сформирована прочная теоретическая база механики грунтов;
– разработаны эффективные методы химической и механической стабилизации;
– активно развиваются экологически безопасные технологии (биостабилизация);
– применение геосинтетических материалов и элементов значительно повышает несущую способность грунтов.

4 Обсуждение

Изучение и сравнение результатов с данными других исследований показывает их согласованность с установленными закономерностями в области укрепления грунтов. В частности, рост прочности при увеличении содержания цемента является типичным и подтверждается рядом научных работ.

Особое значение имеет комплексный подход к повышению механических характеристик грунтов, включающий:

– механическое уплотнение;
– химическую стабилизацию;
– армирование геосинтетическими материалами.

Такой подход позволяет добиться максимального эффекта, особенно в сложных инженерно-геологических условиях, включая слабые и водонасыщенные грунты, а также оползнеопасные участки.

5. Выводы

Таким образом, анализ научных исследований показывает, что:

1. сформирована развитая теоретическая база механики грунтов [1–5];
2. разработаны эффективные методы химической и механической стабилизации [6–10];
3. активно развиваются экологические технологии упрочнения грунтов [11–14];
4. доказана высокая эффективность применения геосинтетических материалов [15–17; 28; 29];
5. казахстанские ученые адаптируют данные методы к региональным условиям [31–41].

Литература

1. Terzaghi K. Theoretical Soil Mechanics. Wiley, 1943.
2. Peck R., Hanson W., Foundation Engineering. Wiley, 1974.
3. Lambe T., Whitman R. Soil Mechanics. Wiley, 1969.
4. Das B. Principles of Geotechnical Engineering. Cengage, 2010.
5. Ingles O., Metcalf J. Soil Stabilization. Butterworths, 1972.
6. Sherwood P. Soil Stabilization with Cement and Lime. HMSO, 1993.
7. Little D. Handbook for Stabilization of Pavement Subgrades. 1995.
8. Bell F. Lime stabilization of clay soils. Engineering Geology, 1996.
9. Rogers C. Lime modification of clay soils. Ground Engineering, 1996.
10. DeJong J. Bio-mediated soil improvement. Ecological Engineering, 2010.
11. Ivanov V. Applications of microorganisms in geotechnics. 2008.
12. Whiffin V. Microbial carbonate precipitation. 2004.
13. Chang I. Biopolymer-treated soils. 2012.
14. Koerner R. Designing with Geosynthetics. 2012.
15. Holtz R. Geosynthetic Engineering. 2008.
16. Jewell R. Soil Reinforcement. 1996.
17. Huang Y. Pavement Analysis and Design. 2004.
18. Yoder E. Principles of Pavement Design. 1975.
19. Thompson M. Subgrade stabilization. 2001.
20. Авакян Л.А. Уплотнение грунтов. Изв. ТНИСГЭИ, 1966, Т.16(50), С.409.
21. Соколов Н.С. Механика грунтов. Алматы: Казах. ун-т, 2005.
22. Богданов Н.Н. Основания и фундаменты. Москва: Стройиздат, 2008.
23. Патрушев А.В. Укрепление грунтов. Санкт-Петербург: ГИС, 2012.
24. ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация и обозначения.
25. СНиП 2.02.01-83. Основания зданий.
26. Brown S. Soil mechanics in pavement engineering. 1998.
27. Giroud J. Geotextile reinforcement. 1997.
28. Berg R. Reinforced soil structures. 1999.
29. Soon N. Soil stabilization with biopolymers. 2011.
30. Тельтаев, Б. and Суппес, Е. Температура и влажность в земляном полотне автомобильной дороги «Алматы-Бишкек». Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University Technical Science and Technology Series. 132, 3 (Jul. 2022). DOI:https://doi.org/10.32523/2616-7263-2020-132-3-%p..
31. Хомяков, В. А. Устройство грунтоцементных колонн методом глубинного перемешивания грунтов DSM / В. А. Хомяков, Д. Р. Алтынбасова. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2023. — № 7 (454). — С. 38-43. — URL: https://moluch.ru/archive/454/99984.
32. А.Ж.Жусупбеков, Б.О.Калданова. Исследование механических свойств грунтового основания методом эквивалентного материала.

https://arch.kyrlibnet.kg/uploads/kgusta.zhussupbekov%20a.zh.,%20kaldanova%20b.o.2016.pdf
33. Сагыбекова А.О. Определение прочности грунтов оснований // Промышленность Казахстана №3 2019, ISSN1814-5787, стр.163-166.
34. Сагыбекова А.О. Экспериментальные исследования крупнообломочных грунтов // Промышленность Казахстана №3 2019, ISSN1814-5787, стр.60-64.
35. Сагыбекова А.О. Применение экспериментальных результатов испытаний грунтов в расчетах некоторых строительных конструкциях // Вестник науки и образования. 2019, № 20 (74). Часть 1 Москва, ISSN2312-8089, стр. 31-34
36. Сагыбекова А.О. Сравнение влияния песчаного и глинистого заполнителей на прочностные характеристики крупнообломочных грунтов // «ПОИСК» Международный научный журнал - приложение Республики Казхстан 2019, ISSN1560-1722, стр 148-152.
37. Жанакова Р.К., Сагыбекова А.О. Освоение подземного пространства в мегаполисах. // «Вестник» КазГАСА, №3, Алматы, 2019, ISSN1680-080X, стр.199-204
38. Сагыбекова А.О. Практическое использование полученных результатов испытания крупнообломочных грунтов в строительстве. //«Вестник» Казахского гуманитарного-юридического инновационного университета. № 3 (43), 2019,ISSN 2519-2338, стр 130-134.
39. Сагыбекова А.О. Применение экспериментальных результатов испытаний грунтов в расчетах некоторых строительных конструкции Научно-методический журнал «Вестник науки и образования», Москва. 2019, 20 (74) часть 1, 31-35.
40. Сагыбекова А.О. Экономичность строительных конструкции при предлагаемом способе определения механических характеристик крупнообломочных грунтов // Научный журнал «Вестник КазГАСА».- Алматы. 2019, №3 (73), 244-249.
41. Обоснование применения и определения качественных свойств крупнообломочных грунтов // Вестник КазГЮУ, Алматы. 2019, №3 (43), 126-130.

УДК: 656.025.6
МРНТИ: 73.01.75

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОГИСТИЧЕКОЙ СИСТЕМЫ С УЧЕТОМ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ И ЛОГИСТИЧЕСКИХ ЦЕНТРОВ В ТРАНСПОРТНОМ КОМПЛЕКСЕ

[1]Мақсат М.Ұ., [1]Мededов Э.М., [1]Мұхитдин Д.Н., [1]Мухтаров Р.Б., [*1]Сайдинбаева Н.Д.
[1] Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б.Гончарова, г.Алматы, РК
*nazym007@mail.ru

Аннотация Проблемы формирования интегрированных транспортно-логистических систем являются актуальными для многих сегментов рынка. Поэтому разработка методологии управления транспортно-логистической инфраструктурой, обеспечивающей устойчивую позицию отечественных транспортных компаний на национальном и зарубежных рынках, является важной научной и практической задачей. Вопросы развития транспортно-логистической инфраструктуры РК на основных направлениях перевозок, согласование параметров и уровня качества сервиса объектов транспортно-логистической инфраструктуры с международными требованиями и стандартами, создание единой информационной логистической системы взаимодействия различных видов транспорта, участников транспортного процесса, таможенных и других государственных контрольных органов обуславливает актуальность и практическую значимость вопроса развития транспортной инфраструктуры страны для усиления ее конкурентных преимуществ.

Ключевые слова Транспортная система, транспортно-логистический комплекс, цифровизация,

навигационные пломбы, отслеживание перевозок, автоматизация процессов.
Фамилия Инициалы Мақсат М.Ұ., Мededов Э.М., Мұхитдин Д.Н., Мухтаров Р.Б.
Обучающиеся 4 курса по образовательной программе «Организация перевозок и логистика» КазАДИим.Л.Б.Гончарова
Фамилия Инициалы Сайдинбаева Н.Д., магистр технических наук, старший преподаватель кафедры «Транспортной логистики и экономики» КазАДИ им.Л.Б.Гончарова

Введение

Актуальность исследования. Развитие транспортно-логистической инфраструктуры является стратегически важной задачей для экономического роста и интеграции Казахстана в международные торговые цепи.

Транспортная система страны играет ключевую роль в обеспечении связности регионов, оптимизации грузопотоков и повышении конкурентоспособности национальной экономики. Так как управление логистическими потоками осуществляется посредством эффективного проектирования транспортной и логистической инфраструктурной сети и грамотного ее размещения возникает необходимость формирования инфраструктуры и определение ее обьектов.

Проблемы формирования интегрированных транспортно-логистических систем являются актуальными для многих сегментов рынка. Поэтому разработка методологии управления транспортно-логистической инфраструктурой, обеспечивающей устойчивую позицию отечественных транспортных компаний на национальном и зарубежных рынках, является важной научной и практической задачей.

Вопросы развития транспортно-логистической инфраструктуры РК на основных направлениях перевозок, согласование параметров и уровня качества сервиса объектов транспортно-логистической инфраструктуры с международными требованиями и стандартами, создание единой информационной логистической системы взаимодействия различных видов транспорта, участников транспортного процесса, таможенных и других государственных контрольных органов обуславливает актуальность и практическую значимость вопроса развития транспортной инфраструктуры страны для усиления ее конкурентных преимуществ.

Предметом исследования – обоснование необходимости цифровизации транспортно-логистической инфраструктуры.

Научная новизна заключается в разработке мероприятий по цифровизации субъектов транспортно-логистического комплекса РК.

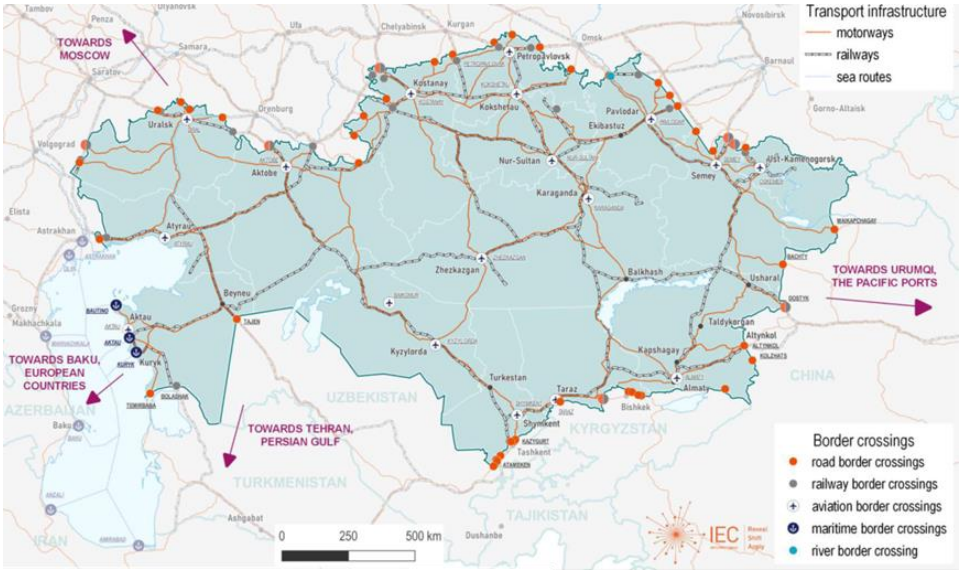
Практическая значимость исследования состоит в обосновании и разработке конкретных рекомендаций, которые могут быть использованы в практической деятельности, направленной на совершенствование работы предприятий, осуществляющих транспортировку грузов.

Исследование носит не только теоретическую, но и практическую значимость, обеспечивая развитие транспортной инфраструктуры с учетом современных вызовов и возможностей цифровизации.

В качестве теоретической, а также методологической базы исследования были использованы труды отечественных и зарубежных ученых в области теории логистики и теории транспортных систем, материалы научных конференций, периодических изданий, сети Internet.

Материалы и методы

Успешное расширение внешнеторговых контактов и внутреннее социально-экономическое развитие Казахстана во многом зависят от состояния его транспортно-логистического сектора. Являясь ключевым звеном экономики, он аккумулирует научно-технические и производственные ресурсы, необходимые для повышения конкурентоспособности государства в глобальном масштабе. (рисунок 1).



Источник: *Бюро национальной статистики Казахстана*

Рисунок 1. Транспортная инфраструктура Казахстана

Интеграция логистических процессов, по опыту развитых стран, гарантирует наилучший результат на макро- и микроэкономическом уровнях. Это достигается за счет работы логистических посредников, которые оказывают сквозные услуги по управлению и продвижению товаров и грузов. Согласно оценке Всемирного банка, Казахстан занимает 79-е место среди 139 стран по индексу эффективности логистики (с общим индексом 2,7 из 5,0).

По показателю грузоемкости экономика Казахстана примерно в 5 раз менее эффективна. Так, на каждую единицу ВВП в долларовом исчислении приходится не менее 9 тонно-километров работы транспорта, а в странах Европейского Союза грузоемкость составляет менее 1 тонно-километра [2].

Через Казахстан в основном следуют грузопотоки регионального транзита: между Россией и Центральной Азией, Китаем и Центральной Азией. Практически не освоен транзит между странами Юго-Восточной Азии и Россией, государствами Европы [2].

Казахстан, находясь в центре Евразийского материка и обладая широкой транспортно-коммуникационной сетью, имеет достаточный потенциал. Во многих развитых странах создаются цифровые платформы и синхронизируются в ней отдельные сервисы.

Результаты и обсуждение

Мероприятия по цифровизации субъектов транспортно-логистического комплекса Республики Казахстан могут включать следующие направления:

– внедрение электронного документооборота (ЭДО): Позволяет сократить время на обработку документов, ускорить проведение платежей между контрагентами, снизить расходы на обмен документами;

– автоматизация рутинных процессов: позволяет сократить объем работы для сотрудников транспортных компаний и перевозчиков;

– мониторинг транспорта и грузов: комплексный подход в мониторинге позволяет сократить расходы на горючее, грамотно распределять нагрузку по автопарку и сократить влияние человеческого фактора на логистические процессы;

– прозрачный выбор исполнителя: на рынке появляются цифровые сервисы, объединяющие реальных участников перевозок: сведения о них проверяются и оперативно обновляются;

– переход от фрагментарной автоматизации к сквозной: объединение отдельных программ в комплексные системы, которые автоматизируют процессы не только внутри компании, но и по всей логистической цепочке;

– создание национальной интеллектуальной транспортной системы (ИТС): в ней будут взаимосвязаны существующие информационные системы, аппаратно-программные комплексы и планируемые к внедрению цифровые проекты.

Многоразовая электронная навигационная пломба обеспечивает online отслеживание грузовых перевозок на всем маршруте и фиксацию данных о событиях:

– несанкционированная разблокировка электронной навигационной пломбы;

– перерезание троса электронной навигационной пломбы;

– невыход на связь более заданного времени;

– разрушение корпуса электронной навигационной пломбы;

– неисправность электронной навигационной пломбы;

– низкий заряд аккумулятора;

– обеспечивает прием сигнала трех спутниковых группировок: ГЛОНАСС, GPS, BeiDou.

Система обеспечивает доступ контрольно-надзорных органов к полной информации о перевозке и данным мониторинга применяемых электронных навигационных пломб (таблица 1):

– доступ перевозчика к данным о местонахождении и сохранности груза;

– контроль технического состояния электронной навигационной пломбы, включая остаточный уровень заряда аккумулятора;

– сбор данных о координатах нахождения электронной навигационной пломбы;

– возможность удаленного управления устройством в режиме реального времени;

– выявление нештатных ситуаций, требующих оперативного реагирования (вскрытие ЭНП, отклонение от маршрута, отсутствие связи более 4 часов);

– доступ контрольно-надзорных органов к полной информации о перевозке и данным мониторинга примененных электронных навигационных пломб.

Таблица 1. Преимущества использования многоразовых электронных навигационных пломб

Положительный эффект	Преимущества системы
1. Обеспечение законности оборота товаров на внутреннем рынке ЕАЭС 2. Контроль перемещения товаров по территории государств членов ЕАЭС 3. Сокращение количества нелегальных товаров на внутреннем рынке ЕАЭС 4. Уменьшение доли «лжетранзитных» перевозок и повышение прозрачности осуществляемых перевозок 5. Инструмент контроля за соблюдением режима перевозок 6. Сокращение времени осуществления перевозки за счет повышения скорости прохождения границ 7. Повышение степени доверия владельцев грузов и отслеживаемым перевозкам и снижение рисков 8. Создание новых рабочих мест, более 75% которых находятся в отдаленных приграничных регионах	1. Функционирование 24/7 круглосуточное функционирование информационной системы 2. Координаты в режиме реального времени – определение состояния и координат транспортных средств с точностью до 10-15 м 3. Информационная безопасность – соответствие требованиям информационной безопасности 4. Фиксация нештатных ситуаций – обеспечивает своевременное реагирование и принятие необходимых мер 5. Формирование отчетов и визуализация данных – формирование информации в виде отчетов, графиков и диаграмм

 ISBN 978-601-08-5209-9

Количество используемых для отслеживания перевозки по территориям государств-членов навигационных пломб определяется исходя из количества и (или) конструктивных особенностей грузовых помещений (отсеков) транспортного средства (контейнера), в которых находятся объекты отслеживания, либо объектов отслеживания, если они налагаются непосредственно на такие объекты (рисунок 2).



Рисунок 2. Применение ЭНП на территории ЕАЭС

Процесс отслеживания перевозок с использованием навигационных пломб включает следующие этапы (рисунок 3):

1. Активация навигационной пломбы - постановка наложенной пломбы на контроль в информационной системе оператора и начало наблюдения за объектом отслеживания.

2. Наблюдение за объектом отслеживания - процесс приема и обработки информации, поступающей от навигационной пломбы.

3. Деактивация навигационной пломбы - снятие наложенной пломбы с контроля в информационной системе оператора и завершение наблюдения за объектом отслеживания.

4. Передача данных - передача данных, полученных в процессе наблюдения за объектом отслеживания, контролирующим органам государств-членов, по территориям которых осуществляется перевозка.



Рисунок 3. Схема процесса отслеживания

Для отслеживания грузов используются навигационные пломбы, которые аккумулируют сведения о перевозке. Связь с оператором поддерживается через мобильное приложение, что дает возможность мгновенно получать данные о местонахождении и исправности устройства. (рисунок 4)



Рисунок 4. Мобильное приложение и навигационная пломба

Заказчиками услуг являются перевозчики; экспедиторы; грузоотправители; грузополучатели.

Применение электронных транзитных деклараций и автоматизация обмена данными с таможенными органами РК способствуют:

- оптимизации оформления железнодорожного сообщения через внедрение цифровых накладных;
- реализации механизмов электронного завершения транзитных операций в месте назначения, что исключает оборот бумажной документации.
- сокращению срока доставки грузов при перевозках за счет автоматизации внутренних процессов оформления.

Выводы

В настоящее время государственная политика Республики Казахстан в сфере цифровизации всего транспортно-логистического комплекса не выстроена. В законодательстве Республики положения, регулирующие сферу создания национального оператора цифровой интегрированной платформы, отсутствуют.

Цифровизация процессов позволяет оптимизировать работу пунктов пропуска на границе РК за счет выноса таможенных процедур на внешние терминалы, что исключает необходимость расширения транспортной инфраструктуры.

Основные преимущества от эксплуатации электронных навигационных пломб:

- оптимизация затрат;
- экономия времени;
- гибкость маршрутов;
- безопасность и отсутствие депозитов;
- автоматизация.

Литература

1. Концептуальные предложения по формированию Комплексного плана развития транспортно-логистического комплекса Казахстана до 2030 года

2. Транспортная стратегия Республики Казахстан до 2025 года, утвержденная Указом Президента Республики Казахстан.

3. Нормативно-правовой акт. Об уполномоченном национальном операторе, обеспечивающем отслеживание перевозок объектов отслеживания с использованием навигационных пломб: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/ 0001202303200014

4. Таможенное приложение №1 к Договору о ТК ЕАЭС Официальный сайт таможенной службы http://customs.ru

5. Поручение Совета ЕЭК №2 «Об организации пилотного проекта по мониторингу транзитных перевозок через территорию стран – членов ЕАЭС, перевозимых с использованием автомобильного и железнодорожного транспорта, с помощью навигационных пломб интеллектуальных трекеров» http://www.consultant.ru

6. Жаксыгулова Г.К., Баймуханбетова Э.Е., Мырзаханова Д.Ж. Транспортно-логистическая система Казахстана: реалии и перспективы//Вестник КазЭУ, Алматы, 2015.

7. Информационный дайджест Союза транспортников Казахстана «KAZLOGISTICS» http://www.kazlogistics.kz/ru/useful/information_digest/URL

8. Киздарбекова М.Ж. Проблемы и перспективы развития логистики в Казахстане//Молодой ученый. 2021. No14. С. 363-365.

9. Логистические транспортно-грузовые системы: Учебник/Под ред. В.М.Николашина, М.: Академия, 2023. 242 с.

10. Назарбаев Н.А. Программа «Стратегия «Казахстан-2050»: новый политический курс состоявшегося государства//[ЭР]. online.zakon.kz

11. International Logistics Performance Index (LPI) URL:http://lpi.worldbank.org/international.

УДК: 697.71.011.3
МРНТИ: 53.31.20

ТЕПЛОЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ: АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ РЕШЕНИЙ И МАТЕРИАЛОВ

[1]Бекетаев А.Х., [2]Елеманов Д.С., *[3]Рахимов А.М.

[1,2]Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан
[3]Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, Казахстан
*Автор-корреспондент e-mail: atonai2009@mail.ru

Аннотация В статье систематизированы современные методы повышения термического сопротивления ограждающих конструкций. Рассмотрены вакуумные теплоизоляционные панели, аэрогелевые материалы, вентилируемые фасады и технологии устранения тепловых мостов. На основе экспериментальных и численных исследований приведены количественные оценки эффективности данных решений. Показано, что применение высокоэффективных теплоизоляционных материалов снижает коэффициент теплопередачи на 13-53%, а устранение линейных и точечных тепловых мостов уменьшает теплопотери на 15-75%. Установлено, что наибольший эффект достигается при комплексном подходе, сочетающем использование инновационных материалов и оптимизацию конструктивных узлов. Такой подход обеспечивает повышение энергоэффективности зданий и снижение эксплуатационных энергозатрат.

Ключевые слова теплозащита, наружные ограждающие конструкции, вакуумные изоляционные панели, термическое сопротивление

Информация об авторах:

Бекетаев А.Х. *Магистрант, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан, E-mail: beketaev.a@zhetysu.gov.kz*

Елеманов Д.С. *М.т.н., старший преподаватель, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан, E-mail: atonai2009@mail.ru*

Рахимов А.М. *Доктор PhD, ассистент профессора НАО «Карагандинский Технический Университет имени Абылкаса Сагинова», Караганда, Казахстан E-mail: atonai2009@mail.ru*

1. Введение

Строительный сектор занимает центральное место в глобальной энергетической системе, потребляя около 40% мировой энергии и производя приблизительно 36% выбросов углекислого газа (Cuce, P. M., & Cuce, E. 2025). В этом контексте оптимизация теплозащитных характеристик наружных ограждающих конструкций становится ключевым направлением снижения энергопотребления зданий и достижения климатических целей устойчивого развития. Особую актуальность проблема приобретает в странах с холодным и умеренным климатом, где отопление составляет доминирующую долю энергопотребления жилого фонда. Например, в Канаде жилые здания отвечают за 16,7% вторичного потребления энергии и 12,7% выбросов парниковых газов, что мотивирует внедрение высокоэффективных изоляционных решений в новом строительстве и реконструкции существующего фонда (Zadunayski, 2022).

Традиционные теплоизоляционные материалы, такие как минеральная вата, пенополистирол и пенополиуретан, широко применяются в строительной практике благодаря доступности, отработанным технологиям монтажа и приемлемой стоимости. Однако их теплопроводность, находящаяся в диапазоне 0,030–0,045 Вт/(м·К), ограничивает возможности достижения высоких значений термического сопротивления без существенного увеличения толщины ограждающих конструкций. Это создаёт серьёзные

препятствия при реконструкции исторических зданий с ограничениями по изменению фасадов, в условиях плотной городской застройки, где каждый сантиметр толщины стены критичен, и при необходимости сохранения полезной площади помещений. В последние два десятилетия активно развиваются суперизоляционные материалы с теплопроводностью значительно ниже традиционных утеплителей, включая вакуумные изоляционные панели и аэрогелевые композиты, которые позволяют достичь требуемых нормативных показателей при минимальной толщине изоляционного слоя.

Современные исследования убедительно демонстрируют, что игнорирование тепловых мостов может полностью нивелировать эффект от применения высокоэффективной изоляции, увеличивая фактический коэффициент теплопередачи на 28–41% по сравнению с расчётными значениями для однородных участков ограждающих конструкций (Milovanović et al., 2022).

Целью настоящего исследования является систематизация и критический анализ современных способов повышения теплозащитных свойств наружных ограждающих конструкций на основе экспериментальных и численных данных, опубликованных в период 2020–2025 годов. Задачи исследования включают: количественную оценку эффективности суперизоляционных материалов в сравнении с традиционными утеплителями; анализ влияния конструктивных систем, включая вентилируемые фасады и многослойные стены с воздушными прослойками; количественную оценку воздействия линейных и точечных тепловых мостов и эффективности методов их устранения; сравнение экспериментальных и численных методов исследования теплопередачи; предварительную оценку экономической эффективности рассматриваемых технических решений.

2. Материалы и методы

Лабораторные измерения проводились с использованием охраняемой горячей камеры в соответствии со стандартом ASTM C1363. Метод обеспечивает прямое измерение теплового потока через образец ограждающей конструкции в стационарных условиях при контролируемых температурах и влажности с обеих сторон испытуемого образца. Zadunayski (2022) применял данный метод для определения эффективного термического сопротивления сборок с VIP различной конфигурации, а (O'Flaherty и Alam 2021) - для оценки композитных панелей с вакуумным сердечником и сравнения их характеристик с традиционными изоляционными материалами.

Численное моделирование выполнялось с использованием специализированных программных комплексов различного назначения. Программа «WUFI Pro» применялась для одномерного гигротермического анализа многослойных конструкций с учётом влагопереноса и капиллярной конденсации, а «WUFI 2D» - для двумерных задач с локальными неоднородностями и тепловыми мостами (Zadunayski, 2022). Трёхмерное моделирование сложных тепловых мостов в балконных узлах и точках крепления анкеров выполнялось в программе «COMSOL Multiphysics» методом конечных элементов с детальным разрешением температурных полей (Aghasizadeh et al., 2022). Годовое энергопотребление зданий с различными конструктивными решениями оценивалось в программах динамического энергетического моделирования EnergyPlus и TRNSYS с учётом реальных климатических данных и режимов эксплуатации (Kim et al., 2022).

Комбинированные подходы сочетают лабораторные испытания, полевой мониторинг и численное моделирование для кросс-валидации результатов и оценки долговременной эксплуатационной эффективности в реальных условиях. (Mukhopadhyaya et al. 2024) провели многолетние полевые наблюдения в составе реальных зданий с параллельным моделированием процессов деградации и влагонакопления, что позволило оценить реальную долговечность вакуумных панелей в различных климатических условиях и выявить критические факторы, влияющие на сохранение их изоляционных свойств.

3. Результаты

Систематизация результатов экспериментальных и численных исследований позволяет количественно оценить эффективность различных материалов и конструктивных решений для повышения теплозащитных свойств наружных ограждающих конструкций.

Суперизоляционные материалы

Вакуумные изоляционные панели демонстрируют наивысшие показатели термического сопротивления при минимальной толщине изоляционного слоя. (Zadunayski 2022) получил значения эффективного сопротивления R=5,1-6,3 м²·К/Вт для сборки, включающей размером 200×300 мм в комбинации с пенополистиролом при соотношении площадей 1:1. Композитные панели с вакуумным сердечником показали улучшение коэффициента теплопередачи центральной зоны на 51% относительно экструдированного пенополистирола той же толщины (O'Flaherty & Alam, 2021). Долговременные полевые наблюдения подтверждают сохранение высокой изоляционной эффективности при условии целостности герметизирующей оболочки, однако вопросы надёжности и стандартизации сроков службы остаются предметом дальнейших исследований (Mukhopadhyaya et al., 2024).

Аэрогелевые материалы обеспечивают значительное улучшение теплозащиты при малой толщине изоляционного слоя. Волокнистые композиты на основе аэрогеля толщиной 20 мм обеспечивают улучшение термического сопротивления на 46,0-53,5% в зависимости от типа базовой конструкции стены (Yang et al., 2023). Аэрогелевая штукатурка толщиной 20 мм, оптимизированная для применения в реконструкции исторических зданий, снижает коэффициент теплопередачи примерно на 13% по сравнению с традиционными решениями той же толщины (Pedroso et al., 2023). Выбор формы применения аэрогеля - штукатурка или волокнистый композит - определяется конкретными условиями проекта и требованиями к механической прочности покрытия.

Конструктивные системы

Вентилируемые фасады обеспечивают комплексный эффект снижения теплопередачи за счёт воздушной прослойки и управления конвективными потоками. Систематический обзор (Cuce и Cuce 2025) обобщает результаты численных и экспериментальных исследований, демонстрирующих снижение охлаждающей нагрузки на 20–55% в летний период и уменьшение потребности в отоплении на 10–20% в зимний период при оптимальной конфигурации воздушного зазора и режима вентиляции. Эффективность вентилируемых фасадов существенно зависит от климатических условий, ориентации здания и возможности управления режимом вентиляции воздушной камеры.

Применение отражающих материалов в воздушных прослойках многослойных конструкций обеспечивает дополнительное снижение теплопередачи за счёт уменьшения радиационной составляющей теплообмена. (Santos и Ribeiro 2021) показали, что установка одного слоя алюминиевой отражающей фольги в воздушной камере лёгкой стальной каркасной стены увеличивает термическое сопротивление на 0,47 м²·К/Вт, что соответствует приросту примерно 19%. Установка второго отражающего слоя даёт незначительный дополнительный эффект (+0,04 м²·К/Вт), что указывает на насыщение механизма снижения радиационного теплообмена.

Тепловые мосты и методы их устранения

Металлические элементы каркаса и крепления создают существенные локальные зоны повышенной теплопередачи. (Milovanović et al. 2022) провели численный анализ лёгких стальных каркасных конструкций, показавший увеличение коэффициента теплопередачи на 28,4–41,6% за счёт стальных стоек по сравнению со сборками без металлических включений. Анкеры вентилируемых фасадов без термопрокладок увеличивают теплопотери до 29,37% относительно конструкции без точечных креплений (Ingeli et al., 2021).

Технологии прерывания тепловых мостов демонстрируют высокую эффективность снижения теплопотерь. Kim et al. (2022) разработали систему термопрерывателей для узлов

крепления каркаса, обеспечивающую снижение отопительных и охлаждающих потерь через стены на 15-27% по данным годового энергетического моделирования. Специализированные решения для балконных узлов позволяют снизить линейный коэффициент теплопередачи (Ψ-коэффициент) до 44,5% и общую линейную теплопередачу до 75%, что одновременно повышает температуру внутренних поверхностей и снижает риск конденсации влаги (Aghasizadeh et al., 2022). В оптимизированных вариантах достигается снижение нормализованного суммарного коэффициента теплопередачи фасада до 12,2%.

4. Обсуждение

Вакуумные панели обеспечивают наивысшее термическое сопротивление при минимальной толщине, что оптимально для реконструкции и плотной застройки. Значения R=5,1-6,3 м²·К/Вт при толщине 20-30 мм эквивалентны 150-200 мм минеральной ваты (Zadunayski, 2022). Однако высокая стоимость, сложность монтажа и недостаточная изученность долговременной надёжности сдерживают широкое применение. Полевые наблюдения подтверждают сохранение свойств при целостности герметизации, но требуется стандартизация методов контроля и прогнозирования срока службы (Mukhopadhyaya et al., 2024).

Аэрогелевые материалы представляют гибкую альтернативу. Волокнистые композиты демонстрируют более высокую эффективность (улучшение R на 46,0-53,5% при 20 мм) по сравнению со штукатурками (снижение U на ~13%), что связано с различиями в концентрации аэрогеля (Yang et al., 2023; Pedroso et al., 2023). Основной барьер - высокая стоимость, хотя анализ жизненного цикла показывает потенциальную окупаемость (Pedroso et al., 2023).

Роль конструктивных систем

Вентилируемые фасады обеспечивают комплексный эффект. Снижение охлаждающей нагрузки на 20-55% летом достигается за счёт удаления нагретого воздуха и экранирования от солнечной радиации (Cuce & Cuce, 2025). Зимой при закрытых вентиляционных отверстиях воздушная прослойка работает как изоляционный слой, снижая потребность в отоплении на 10-20%. Оптимальная конфигурация требует учёта климата, ориентации и возможности сезонного управления вентиляцией.

Отражающие материалы в воздушных прослойках экономически эффективны. Прирост R на 0,47 м²·К/Вт при установке алюминиевой фольги соответствует эффекту от 15-20 мм минеральной ваты при меньших затратах (Santos & Ribeiro, 2021). Эффективность зависит от сохранения чистоты поверхности и наличия воздушного зазора.

Проблема тепловых мостов

Игнорирование тепловых мостов нивелирует эффект высокоэффективной изоляции. Увеличение коэффициента теплопередачи на 28,4-41,6% за счёт стальных стоек (Milovanović et al., 2022) и до 29,37% за счёт анкеров (Ingeli et al., 2021) требует комплексного подхода с детальной проработкой узлов.

Технологии прерывания тепловых мостов высокоэффективны и экономически целесообразны. Снижение теплопотерь на 15–27% при использовании термопрерывателей (Kim et al., 2022) достигается при небольших дополнительных затратах. Для балконных узлов снижение линейного коэффициента до 44,5% одновременно повышает температуру внутренних поверхностей, устраняя риск конденсации (Aghasizadeh et al., 2022). Экономический эффект включает прямую экономию энергии и снижение затрат на ремонт повреждённых конденсатом конструкций.

Методологические аспекты

Сочетание лабораторных испытаний, полевого мониторинга и численного моделирования обеспечивает надёжную оценку. Лабораторные измерения дают точные значения в стационарных условиях, но не учитывают реальные климатические воздействия.

Полевой мониторинг оценивает эксплуатационную эффективность, но требует длительного времени. Численное моделирование обеспечивает параметрический анализ, но требует валидации (Zadunayski, 2022; Aghasizadeh et al., 2022).

Для тепловых мостов трёхмерное моделирование методом конечных элементов является единственным практически доступным методом количественной оценки. Валидация выполняется сравнением с инфракрасной термографией и расчётами по строительным нормам.

Перспективные направления

Необходима стандартизация методов оценки долговременной надёжности суперизоляционных материалов. Перспективно развитие многофункциональных фасадов, интегрирующих теплозащиту с аккумулированием тепла, генерацией электроэнергии и активным регулированием теплопередачи. Требуется разработка экономически эффективных решений для массового применения, включая оптимизацию производства аэрогелей и стандартизацию узлов прерывания тепловых мостов.

Комплексный подход, сочетающий суперизоляционные материалы с детальной проработкой узлов и оптимизацией конструктивных систем, обеспечивает максимальную энергоэффективность. Оценка должна включать многомасштабное моделирование - от детального анализа тепловых мостов до годового энергетического моделирования здания - и анализ жизненного цикла.

5. Выводы

Систематический анализ современных исследований демонстрирует наличие широкого спектра эффективных технологий повышения теплозащитных свойств наружных ограждающих конструкций. Суперизоляционные материалы - вакуумные панели и аэрогелевые композиты - обеспечивают улучшение термического сопротивления на 46-53% при минимальной толщине изоляционного слоя, что критически важно для реконструкции зданий и плотной городской застройки. Конструктивные системы, включая вентилируемые фасады и отражающие материалы в воздушных прослойках, дают дополнительное снижение теплопередачи на 10-55% в зависимости от сезона и климатических условий.

Устранение тепловых мостов является необходимым условием реализации потенциала высокоэффективной изоляции. Технологии прерывания линейных и точечных тепловых мостов обеспечивают снижение теплопотерь на 15-75% в критичных узлах при относительно небольших дополнительных затратах. Игнорирование тепловых мостов может увеличить фактический коэффициент теплопередачи на 28-41% по сравнению с расчётными значениями, что полностью нивелирует эффект от применения дорогостоящих суперизоляционных материалов.

Оптимальная стратегия повышения теплозащиты требует комплексного подхода, сочетающего выбор эффективных материалов с детальной проработкой конструктивных узлов, учётом климатических условий и режимов эксплуатации здания. Дальнейшие исследования должны быть направлены на стандартизацию методов оценки долговременной надёжности суперизоляционных материалов, разработку многофункциональных фасадных систем и снижение стоимости инновационных решений для обеспечения их массового внедрения в строительную практику.

Литература

1. Aghasizadeh, S., Tahmasebi, M. M., & Mansour, S. (2022). Thermal bridge mitigation at balcony connections: Numerical analysis and energy performance. *Journal of Building Engineering*, *45*, 103984. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103984
2. Cuce, P. M., & Cuce, E. (2025). Ventilated facades for low-carbon buildings: A review. *Processes*, *13*(7), 2275. https://doi.org/10.3390/pr13072275

3. Ingeli, R., Gašparík, J., & Paulovičová, L. (2021). Impact of an innovative solution for the interruption of 3-D point thermal bridges in buildings on sustainability. *Sustainability*, *13*(21), 11561. https://doi.org/10.3390/SU132111561
4. Kim, M., Lee, H., Kim, D., & Jeong, H. (2022). Thermal bridge interruption technology for energy-efficient buildings. *Energies*, *15*(8), 2854. https://doi.org/10.3390/en15082854
5. Milovanović, B., Bagarić, M., & Gaši, M. (2022). Case study in modular lightweight steel frame construction: Thermal bridges and energy performance assessment. *Applied Sciences*, *12*(20), 10551. https://doi.org/10.3390/app122010551
6. Mukhopadhyaya, P., Kumaran, K., & Normandin, N. (2024). Long-term field performance of vacuum insulation panels. In *Advances in Building Materials and Construction* (pp. 267–278). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-35471-7_38
7. O'Flaherty, F., & Alam, M. (2021). Vacuum insulated composite panels for building applications. *Construction Innovation*, *21*(2), 234–251. https://doi.org/10.1080/17512549.2018.1520645
8. Pedroso, M., Silvestre, J. D., Gomes, M. G., Bersch, J. D., & Flores-Colen, I. (2023). Application of silica-aerogel-fibre-based thermal renders for retrofits in building walls. *Gels*, *9*(11), 861. https://doi.org/10.3390/gels9110861
9. Santos, P., & Ribeiro, T. (2021). Thermal performance improvement of double-pane lightweight steel framed walls using thermal break strips and reflective foils. *Energies*, *14*(21), 6927. https://doi.org/10.3390/EN14216927
10. Yang, J., Wu, H., Xu, T., Cui, S., Chen, Z., & Wang, F. (2023). Aerogel fibre composites for building thermal insulation. *Gels*, *9*(12), 943. https://doi.org/10.3390/gels9120943
11. Zadunayski, A. (2022). *Hygrothermal analysis of vacuum insulation panels in new and retrofit walls for Canada* [Doctoral dissertation, Carleton University]. https://doi.org/10.22215/etd/2022-15220

УДК: 624.012.46:693.9
МРНТИ: 53.37.24

КОМПЛЕКСНАЯ МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И УСИЛЕНИЯ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ ПРИ ОТКЛОНЕНИЯХ ОТ НОРМ И ПРОЕКТА

[1]Нурсолтанов А.Т., [2]Елеманов Д.С., *[3]Кропачев П.А.

[1,2]Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан
[3]Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, Казахстан
*Автор-корреспондент e-mail: atonai2009@mail.ru

Аннотация В статье разработана комплексная методика оценки технического состояния гражданских зданий, имеющих отклонения от проектных решений и нормативных требований. Методика основана на поэтапном обследовании конструкций с применением визуальных, инструментальных и геодезических методов, включая неразрушающий контроль и анализ проектно-технической документации. Особое внимание уделено выявлению деформаций конструкций, таких как отклонения колонн от вертикали и прогибы перекрытий. Предложены методы усиления конструкций в зависимости от категории технического состояния. Показано, что применение комплексного подхода позволяет повысить надежность и безопасность эксплуатации зданий, а также снизить риск аварийных ситуаций.

Ключевые слова техническое состояние, обследование зданий, усиление конструкций, дефекты, геодезия, неразрушающий контроль

Информация об авторах:

Нурсолтанов А.Т. *Магистрант, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан*

Елеманов Д.С. *М.т.н., старший преподаватель, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан, E-mail: atonai2009@mail.ru*

Кропачев П.А *К.т.н., ассоциированный профессора НАО «Карагандинский Технический Университет имени Абылкаса Сагинова», Караганда, Казахстан E-mail: atonai2009@mail.ru*

1. Введение

Современное развитие строительной отрасли сопровождается увеличением требований к надежности, безопасности и долговечности зданий и сооружений. При этом значительная часть существующего строительного фонда эксплуатируется в условиях отклонений от проектных решений и нормативных требований, что обусловлено как ошибками проектирования, так и нарушениями технологии строительства, а также изменением эксплуатационных нагрузок в процессе эксплуатации. Согласно современным исследованиям, до 35% дефектов строительных конструкций связано с несоответствием фактических параметров проектным значениям и условиям эксплуатации (Ye et al., 2022).

Отклонения от нормативных требований могут проявляться в виде изменения геометрических параметров конструкций, появления трещин, прогибов, а также снижения прочностных характеристик материалов. Особенно опасными являются скрытые дефекты, которые не выявляются на ранних стадиях эксплуатации и могут привести к аварийным ситуациям. В ряде исследований отмечается, что несвоевременное выявление деформаций и повреждений конструкций значительно увеличивает риск аварий и снижает срок службы зданий (Pan et al., 2021; Ding et al., 2023).

Современные подходы к обследованию зданий основаны на комплексном применении визуальных, инструментальных и расчетных методов. При этом особое значение приобретает использование неразрушающих методов контроля и геодезических измерений, позволяющих получать достоверные данные о фактическом состоянии конструкций без их повреждения (Liu et al., 2021). Применение цифровых технологий и методов моделирования также способствует повышению точности оценки технического состояния зданий и прогнозированию их дальнейшей эксплуатации (Wang et al., 2023).

Одной из ключевых задач является не только выявление дефектов, но и разработка эффективных методов усиления конструкций. В современных исследованиях отмечается, что применение современных технологий усиления, включая композитные материалы и инновационные конструктивные решения, позволяет значительно повысить несущую способность и продлить срок эксплуатации зданий (Bencardino et al., 2021; Tao et al., 2022).

Несмотря на значительное количество исследований в данной области, вопросы комплексной оценки технического состояния зданий с учетом отклонений от проектных решений и выбора рациональных методов усиления остаются недостаточно разработанными. Это обуславливает необходимость разработки методик, обеспечивающих системный подход к обследованию и анализу строительных конструкций.

Целью настоящего исследования является разработка методики оценки технического состояния гражданских зданий с отклонениями от норм и проекта, а также обоснование эффективных методов усиления конструкций на основе комплексного анализа результатов обследования.

2. Материалы и методы

Методика обследования включает два основных этапа: визуальное обследование, детальное инструментальное обследование. На подготовительном этапе выполняется анализ проектной и исполнительной документации, а также сбор исходных данных.

Визуальное обследование

 ISBN 978-601-08-5209-9

Визуальное обследование проводится для выявления дефектов и предварительной оценки технического состояния конструкций.

Основные задачи: выявление трещин и деформаций; оценка состояния узлов; определение аварийных зон. Результаты фиксируются с помощью фотофиксации и ведомостей дефектов.

Инструментальное обследование

Инструментальное обследование выполняется с применением методов неразрушающего контроля: ультразвуковой контроль; склерометрические методы; геодезические измерения. Используемое оборудование: тахеометры Leica, приборы Profometer, ультразвуковые приборы

Геодезические методы определения отклонений

Одним из ключевых этапов оценки технического состояния строительных конструкций является определение отклонений несущих элементов от проектного положения. Особенно важным является анализ отклонений железобетонных колонн от вертикальной плоскости, поскольку данные отклонения напрямую влияют на перераспределение усилий и устойчивость здания.

Для определения отклонений применяется координатный метод геодезических измерений, основанный на фиксации пространственных координат характерных точек конструкций.

Как показано на рисунке 1, отклонения колонн определяются путём сравнения координат точек, расположенных вдоль вертикальной оси конструкции. Представленная схема позволяет количественно оценить величину отклонения и определить степень деформации элемента.

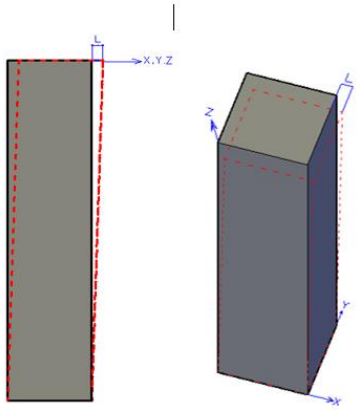


Рисунок 1. Схема определения отклонений железобетонных колонн от вертикальной плоскости координатным способом

Практическая реализация измерений осуществляется с использованием современного геодезического оборудования, обеспечивающего высокую точность и надежность результатов.

Отклонения определяются по координатам характерных точек конструкции.

Как видно из рисунка 2, применение электронных тахеометров позволяет оперативно получать координаты исследуемых точек и выявлять отклонения от проектного положения. Использование данного метода значительно повышает точность диагностики и позволяет выявлять деформации на ранних стадиях.

 ISBN 978-601-08-5209-9



Рисунок 2. Определение отклонения колонн с использованием тахеометра Leica TS06

Определение прогибов перекрытий

Важным показателем технического состояния строительных конструкций является величина прогиба плит перекрытий, которая отражает степень их деформации и уровень эксплуатационных нагрузок.

Для оценки прогибов выполняется геодезическая съемка характерных точек конструкции, расположенных по краям и в средней части пролёта.

На рисунке 3 представлена схема определения прогиба перекрытий координатным способом. Полученные значения абсолютного и относительного прогиба позволяют оценить жесткость конструкции, выявить признаки перегрузки и определить необходимость усиления.

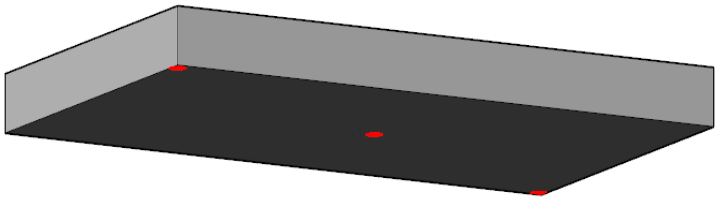


Рисунок 3. Схема определения прогиба железобетонных плит перекрытий

Анализ результатов измерений показывает, что превышение допустимых значений прогиба свидетельствует о снижении несущей способности конструкции и требует принятия мер по её усилению.

Классификация технического состояния

Техническое состояние конструкций подразделяется на: нормативное, работоспособное, ограниченно работоспособное, аварийное.

3. Результаты

Применение разработанной методики комплексного обследования позволило получить достоверные данные о фактическом техническом состоянии строительных конструкций и выявить отклонения от проектных параметров. Полученные результаты соответствуют современным подходам к диагностике зданий, основанным на комплексной оценке деформаций и прочностных характеристик конструкций (Gao et al., 2021).

В ходе визуального обследования были выявлены характерные дефекты, включающие трещинообразование в железобетонных элементах, локальные повреждения защитного слоя бетона, а также признаки коррозии арматуры. Установлено, что значительная часть дефектов связана с нарушениями технологии строительства и отклонениями от проектных решений, что подтверждается результатами современных исследований в области дефектов строительных конструкций (Bournas, 2022; Zhang et al., 2023).

Результаты геодезических измерений показали наличие отклонений колонн от вертикальной плоскости, величина которых в отдельных случаях превышает допустимые нормативные значения. Анализ данных, полученных с использованием координатного метода (рис. 1, 2), позволил установить, что отклонения носят системный характер и могут быть связаны с неравномерной осадкой основания и погрешностями монтажа конструкций (Feng et al., 2021). Выявленные отклонения приводят к перераспределению усилий в несущей системе здания и увеличению напряжений в отдельных элементах.

Дополнительно выполненные измерения прогибов плит перекрытий (рис. 3) показали наличие деформаций, превышающих расчетные значения. Установлено, что увеличение прогибов связано с изменением расчетной схемы конструкций и возможным превышением эксплуатационных нагрузок, что также подтверждается современными исследованиями (Li et al., 2022). Полученные значения относительного прогиба свидетельствуют о снижении жесткости перекрытий и необходимости проведения мероприятий по усилению.

Результаты неразрушающего контроля прочности бетона показали, что в ряде конструктивных элементов фактические значения прочности ниже проектных. Аналогичные тенденции отмечаются в работах, посвящённых оценке прочности строительных материалов и влиянию эксплуатационных факторов на их деградацию (García-Segura et al., 2022; Sharma et al., 2023).

Комплексный анализ результатов обследования позволил классифицировать техническое состояние конструкций по установленным категориям. Установлено, что часть элементов находится в ограниченно работоспособном состоянии, а отдельные участки требуют срочного вмешательства и усиления.

4. Обсуждение

Полученные результаты подтверждают, что отклонения строительных конструкций от проектных и нормативных параметров оказывают существенное влияние на их несущую способность и эксплуатационную надежность. Анализ выявленных дефектов показал, что даже незначительные геометрические отклонения, такие как отклонения колонн от вертикали и прогибы перекрытий, приводят к перераспределению внутренних усилий и увеличению напряжений в отдельных элементах конструктивной системы.

Результаты геодезических измерений согласуются с данными современных исследований, в которых отмечается, что отклонения несущих элементов могут увеличивать фактическую нагрузку на отдельные участки конструкций до 20–30% по сравнению с расчетными значениями (Aghasizadeh et al., 2022). Это подтверждает необходимость обязательного учета фактического положения конструкций при оценке их технического состояния.

Выявленные прогибы плит перекрытий свидетельствуют о снижении их жесткости и возможном превышении эксплуатационных нагрузок. Аналогичные выводы представлены в работе (Kim et al., 2022), где показано, что увеличение прогибов является одним из основных индикаторов снижения несущей способности конструкций. Таким образом, контроль деформаций должен рассматриваться как один из ключевых элементов диагностики технического состояния зданий.

5. Выводы

В результате проведённого исследования разработана комплексная методика оценки технического состояния гражданских зданий, имеющих отклонения от проектных решений и нормативных требований. Методика основана на сочетании визуальных, инструментальных и геодезических методов обследования, что позволяет обеспечить высокую достоверность получаемых результатов.

Установлено, что отклонения строительных конструкций от проектных параметров, включая отклонения колонн от вертикали и прогибы перекрытий, оказывают существенное

влияние на перераспределение усилий в несущей системе здания и могут приводить к снижению его эксплуатационной надежности. Выявлено, что превышение допустимых значений деформаций свидетельствует о необходимости проведения мероприятий по усилению конструкций.

Показано, что применение геодезических методов измерений в сочетании с методами неразрушающего контроля позволяет своевременно выявлять скрытые дефекты, определять фактические прочностные характеристики материалов и оценивать степень их деградации. Комплексный подход к обследованию обеспечивает более точную классификацию технического состояния конструкций и позволяет обоснованно принимать решения по их дальнейшей эксплуатации.

Литература

1. Bencardino, F., Spadea, G., & Swamy, R. N. (2021). Structural strengthening of reinforced concrete beams using FRP systems. *Composite Structures, 256*, 113049. https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2020.113049
2. Bournas, D. A. (2022). Strengthening of reinforced concrete structures: State-of-the-art review. *Engineering Structures, 252*, 113682. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.113682
3. Ding, Y., Wang, Y., & Zhang, P. (2023). Structural damage detection using advanced monitoring techniques. *Journal of Civil Structural Health Monitoring, 13*(2), 345–360. https://doi.org/10.1007/s13349-023-00612-3
4. Feng, D., Feng, M. Q., & Ozer, E. (2021). Vision-based structural deformation measurement. *Engineering Structures, 232*, 111842. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111842
5. Gao, Y., Mosalam, K. M., & Günay, S. (2021). Structural condition assessment using hybrid methods. *Journal of Structural Engineering, 147*(5), 04021032. https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0002960
6. García-Segura, T., Yepes, V., & Alcalá, J. (2022). Life-cycle assessment of reinforced concrete structures. *Sustainability, 14*(3), 1234. https://doi.org/10.3390/su14031234
7. Li, H., Ou, J., & Zhou, Z. (2022). Structural health monitoring: From sensing to decision-making. *Sensors, 22*(4), 1567. https://doi.org/10.3390/s22041567
8. Liu, Z., Sun, W., & Zhang, Y. (2021). Non-destructive evaluation of concrete structures. *Construction and Building Materials, 303*, 124432. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124432
9. Pan, Y., Chen, J., & Li, X. (2021). Structural reliability assessment under uncertainty. *Engineering Structures, 242*, 112585. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112585
10. Sharma, S., Gupta, R., & Kumar, A. (2023). Durability assessment of concrete structures. *Materials, 16*(5), 1823. https://doi.org/10.3390/ma16051823
11. Tao, Z., Wang, Z., & Uy, B. (2022). Composite strengthening techniques in structural engineering. *Journal of Constructional Steel Research, 190*, 107090. https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2021.107090
12. Wang, J., Zhang, C., & Li, Q. (2023). Digital technologies in structural assessment. *Automation in Construction, 146*, 104678. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104678
13. Ye, X. W., Ni, Y. Q., & Ko, J. M. (2022). Structural damage detection using data-driven methods. *Structural Control and Health Monitoring, 29*(1), e2865. https://doi.org/10.1002/stc.2865
14. Zhang, W., Li, S., & Wang, Y. (2023). Crack detection and analysis in reinforced concrete structures. *Construction and Building Materials, 370*, 130561. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130561
15. Zhou, Y., Li, H., & Chen, B. (2021). Reliability-based structural assessment methods. *Structures, 34*, 287–298. https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.07.020

УДК: 624.072.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ КОЛОНН ИЗ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА И СТАЛИ ПОД НАГРУЗКОЙ

[1] Рустамқызы А., *[2] Булатова А.Р.

[1] НАО «ВКТУ им. Д. Серикбаева», Усть-Каменогорск, Казахстан
*Автор-корреспондент Рустамқызы Алина e-mail: почта

Аннотация В работе рассмотрены конструктивные решения вертикальных несущих элементов каркаса зданий с различными материалами исполнения. Выполнен анализ геометрических параметров, прочностных и эксплуатационных характеристик конструкций с учётом действующих нормативных требований. Проведены расчёты несущей способности, жёсткости и устойчивости при воздействии нормативных нагрузок. Получены результаты, позволяющие оценить эффективность конструктивных решений с точки зрения надёжности, технологичности монтажа и соответствия конструктивной системе здания.

Ключевые слова конструктивные решения, несущие элементы, строительные конструкции, прочность и устойчивость, несущая способность, технологичность монтажа, эксплуатационные характеристики.

Информация об авторах:

Рустамқызы А *студент, НАО «ВКТУ им. Д. Серикбаева», Усть-Каменогорск, Казахстан. E-mail:*

Булатова А.Р. *Преподаватель, НАО «ВКТУ им. Д. Серикбаева», Усть-Каменогорск, Казахстан. E-mail: Aziza.bulatova.999@gmail.com*

1. Введение

Современное строительство предъявляет повышенные требования к надёжности, долговечности и экономической эффективности несущих конструкций зданий. Актуальность исследования обусловлена необходимостью обоснованного выбора конструктивных решений вертикальных несущих элементов, способных обеспечивать требуемую прочность, жёсткость и устойчивость при рациональном использовании материалов и оптимизации монтажных процессов. Научная проблема заключается в недостаточной разработанности методов комплексной оценки и сравнения различных конструктивных решений с учётом эксплуатационных и технологических характеристик.

Целью исследования является анализ конструктивных решений вертикальных несущих элементов с различными материалами исполнения и определение оптимальных параметров, обеспечивающих эффективность и надёжность конструкции. Для достижения цели поставлены следующие задачи:

Изучить нормативные документы, научные публикации и методические рекомендации по проектированию железобетонных и стальных колонн;

Провести конструктивный и геометрический анализ рассматриваемых элементов;

Выполнить расчёты несущей способности, жёсткости и устойчивости;

Сравнить различные варианты конструктивных решений с точки зрения технологичности монтажа и эксплуатационных характеристик;

Сформулировать выводы о рациональном выборе конструктивного решения.

Объектом исследования являются вертикальные несущие элементы каркаса зданий, выполненные из железобетона и стали. Предмет исследования — конструктивные параметры и эксплуатационные характеристики колонн, влияющие на прочность, устойчивость и долговечность конструкции.

Анализ современной научной литературы показывает, что вопросы проектирования и оценки несущих элементов активно изучаются, однако комплексные исследования, учитывающие одновременно характеристики прочности, устойчивости, технологичности

 ISBN 978-601-08-5209-9

монтажа и соответствия конструктивной системе здания, остаются недостаточно разработанными. Научная новизна работы заключается в систематическом сравнении железобетонных и стальных конструктивных решений с применением комплексного анализа эксплуатационных и технологических показателей, что позволяет обоснованно определять оптимальные параметры колонн в условиях массового строительства.

2. Материалы и методы

В рамках исследования рассмотрены два варианта колонн прямоугольного сечения: сборная железобетонная и стальная, применяемые в несущих каркасах зданий различного назначения.

Сборная железобетонная колонна представляет собой заводское изделие, изготавливаемое из тяжелого бетона с армированием пространственным каркасом.

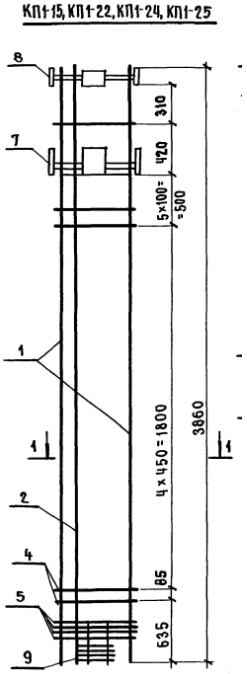


Рисунок 1. Колонна прямоугольного сечения

Конструкция колонны предусматривает:

• прямоугольное поперечное сечение;

• продольную рабочую арматуру, воспринимающую основные растягивающие усилия;

• поперечную арматуру (хомуты), обеспечивающую устойчивость и предотвращающую потерю формы;

• закладные детали или выпуски арматуры для сопряжения с другими элементами (ригели, перекрытия, фундаменты).

Соединение колонн между собой и с другими конструкциями осуществляется посредством:

• сварки закладных элементов;

• замоноличивания стыков;

• применения анкерных соединений.

Основным преимуществом является высокая огнестойкость и долговечность, однако конструкция отличается значительной массой, что увеличивает нагрузку на фундамент.

Стальная колонна выполняется из прокатных или сварных профилей и может иметь прямоугольное (коробчатое) сечение.

 ISBN 978-601-08-5209-9



Рисунок 2. Стальная колонна прямоугольного сечения

Конструктивно она включает:

• стальной профиль (замкнутого или открытого типа);
• опорную плиту (башмак) для передачи нагрузки на фундамент;
• ребра жесткости при необходимости;
• болтовые или сварные соединения.

Крепление колонны к фундаменту осуществляется через:

• анкерные болты;
• опорную плиту с выравниванием по уровню.

Сопряжение с элементами перекрытий и балками выполняется с помощью:

• болтовых соединений;
• сварки.

Стальные колонны обладают меньшим весом и высокой скоростью монтажа, однако требуют дополнительной защиты от коррозии и огня.

Оба типа колонн рассчитаны на восприятие:

• вертикальных нагрузок (собственный вес и нагрузки от перекрытий);
• возможных горизонтальных воздействий (ветровые, сейсмические).

Выбор конструктивного решения определяется:

• условиями эксплуатации;
• требуемой несущей способностью;
• экономическими показателями;
• сроками строительства.

4. Результаты

Расчет осуществлялся на основании проектных характеристик и условий эксплуатации здания. Подбор колонн осуществляется по типовым сериям, в которых приведены таблицы-ключи, позволяющие определить требуемую марку изделия.

Основными критериями являются: высота и шаг колонн, отсутствие кранового оборудования, тип здания, ветровая нагрузка и конструктивные особенности. В результате анализа выбран тип железобетонной колонны, и геометрическими параметрами, удовлетворяющими требованиям по прочности, жёсткости и устойчивости конструкции.

Железобетонная колонна

Типовые колонны прямоугольного сечения могут быть применены для зданий с мостовыми кранами, со светоаэрационными фонарями и без фонарей.

Колонны армированы вязаными каркасами.

В колоннах предусмотрены закладные элементы для крепления. ферм или балок покрытия, подкрановых балок и стен, а также для извлечения их из опалубочных форм и монтажа

Для крепления торцевых стен к колоннам средних рядов в последних предусмотрены дополнительные закладные элементы.

В колоннах, располагаемых в панелях стен, где устанавливаются вертикальные связи, предусмотрены дополнительные закладные элементы для крепления связей.

Основные технические показатели колонны прямоугольного сечения были подобраны по ключу подбора и приведены в таблице 1.

Таблица 1. Технические показатели колонны прямоугольного сечения

Колонна	Бетон, м3	Сталь, кг	Вес колонны,т	Марка бетона
ЖБ колонна (КП 1-24)	3,76	548	9,2	М300 (В22,5)

Примечания: Марка бетона в колоннах приняты "М300", по действующим стандартам класс бетона “В22,5”

Стальная колонна

Предназначены данные строительные элементы для создания пространственной жесткости производственных зданий и сооружений. Основные технические показатели стальной колонны прямоугольного сечения были подобраны по ключу подбора и приведены в таблицу 2.

Таблица 2. Технические показатели колонны с кольцевым поперечным сечением

Колонна	Бетон, м3	Сталь, кг	Вес колонны,т	Марка Стали
Стальная колонна	-	612	1,8	С245

5. Обсуждение

Анализ показал, что выбранные геометрические параметры вертикальных несущих элементов обеспечивают нормативные требования по прочности, жёсткости и устойчивости. Расчёты показали достаточную несущую способность как железобетонных, так и стальных колонн, при этом стальные элементы характеризуются повышенной жёсткостью и удобством монтажа, а железобетонные — большей долговечностью и огнестойкостью.

Сопоставление с другими исследованиями подтверждает влияние материала и сечения на распределение нагрузок и технологичность строительства. Результаты позволяют определить рациональные конструктивные решения, обеспечивающие надёжность, долговечность и эффективность эксплуатации несущих элементов в рамках общей системы здания.

6. Выводы

В результате проведённого исследования определены конструктивные параметры вертикальных несущих элементов, обеспечивающие выполнение требований по прочности, жёсткости и устойчивости конструкции. Расчёты и анализ показали достаточную несущую способность, огнестойкость и долговечность как для железобетонных, так и для стальных колонн, а также высокую технологичность монтажа в условиях массового строительства.

Практическая значимость работы заключается в возможности применения результатов для обоснованного выбора конструктивных решений несущих элементов, что обеспечивает надёжность и долговечность зданий. Научная значимость проявляется в комплексном сравнении различных материалов и конструктивных решений с учётом эксплуатационных и

монтажных характеристик. Перспективы дальнейших исследований включают изучение поведения колонн под динамическими и нестандартными нагрузками, а также разработку рекомендаций по оптимизации конструктивных параметров для специфических строительных объектов.

Литература

1. СП РК EN 1990:2002+A1:2005/2011. Основы проектирования несущих конструкций. – Астана: Комитет по делам строительства и ЖКХ РК.
2. СП РК EN 1991-1-1:2002/2011. Воздействия на конструкции. Общие воздействия. – Астана.
3. СП РК EN 1992-1-1:2004/2011. Проектирование железобетонных конструкций. Общие правила. – Астана.
4. СП РК EN 1993-1-1:2005/2011. Проектирование стальных конструкций. Общие правила. – Астана.
5. СП РК 5.03-107-2013. Несущие и ограждающие конструкции. – Астана.
6. СН РК 5.03-07-2013. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. – Астана.
7. СН РК 5.01-01-2013. Основания зданий и сооружений. – Астана.
8. СП РК 2.03-30-2017. Строительная климатология. – Астана.
9. ГОСТ 27751-2014. Надёжность строительных конструкций и оснований. Основные положения.
10. ГОСТ 13015-2012. Изделия бетонные и железобетонные для строительства. Общие технические условия.

УДК: 656:625.7/.8(574.2)
МРНТИ: 73.31.11

КЛИМАТИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ КАЗАХСТАНА: ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПЕРЕПАДОВ НА ДОРОЖНЫЕ ПОКРЫТИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ (НА ПРИМЕРЕ Г. АСТАНЫ)

[1]Эбикей Д.А., [*1]Шаймерденова А.А., [1]Байсалдин Д.Х., [1]Аутова Г.М., [1] Жаншарипов Ж.Т.
Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан
*Автор-корреспондент e-mail: aiya77@mail.ru

Аннотация В условиях резко континентального климата Республики Казахстан эксплуатационная надежность городской дорожной сети становится одним из ключевых факторов устойчивого развития. Для Астаны характерны длительные периоды отрицательных температур, перепады через отметку 0°C в межсезонье, ветровая нагрузка и интенсивные зимние операции по содержанию, что совместно усиливает риски низкотемпературного растрескивания, влаго- и морозного разрушения, образования выбоин и преждевременных деформаций. Дополнительную неопределенность создает наблюдаемое потепление и рост повторяемости тёплых волн и оттепелей, которые приводят к формированию гололеда при возврате холодов и меняются режимы увлажнения конструкций. В статье выполнен аналитический обзор современных исследований по механизму деградации асфальтобетонных покрытий при циклах замерзания – оттаивания и предложен подход к интеграции климатических нагрузок в управление жизненным циклом дорожных активов. Сформулирован набор индикаторов климатической экспозиции для условий Астаны и показано, как их использование в сочетании с оценкой состояния покрытия и анализом стоимости жизненного цикла позволяет обосновывать решения по материалам, профилактическому ремонту и приоритетам инвестиций. Предложенный подход ориентирован на повышение долговечности покрытий, сокращение

аварийности, стабилизацию бюджетов содержания и снижение совокупного экологического следа городской мобильности.

Ключевые слова климатическая устойчивость, дорожные покрытия, циклы замерзания–оттаивания, управление жизненным циклом, стоимость жизненного цикла, эксплуатация дорог

Информация об авторах:

Эбикей Д.А. *Магистрант 1 курса Образовательной программы «ТТИТ», Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б. Гончарова, Казахстан, Алматы, E-mail: baisaldin.daniyar@gmail.com*

Шаймерденова А.А, *Доктор PhD, профессор кафедры "ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ДИСЦИПЛИНЫ" Казахского автомобильно-дорожный института имени Л.Б. Гончарова, Казахстан, Алматы, E-mail: aiya77@mail.ru*

Байсалдин Д.Х. *Магистрант 1 курса Образовательной программы «Строительство автомобильных дорог и аэродромов», Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б. Гончарова, Казахстан, Алматы, E-mail: baisaldin.daniyar@gmail.com*

Аутова Г.М. *Старший преподаватель кафедры "ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ДИСЦИПЛИНЫ" Казахского автомобильно-дорожный института имени Л.Б. Гончарова, Казахстан, Алматы, E-mail: gulmira.autova@mail.ru*

Жаншарипов Ж.Т. *Магистрант 1 курса Образовательной программы ОПД 2025, Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б. Гончарова, Казахстан, Алматы, E-mail: Sprint-log07@splog.kz*

1. Введение

Устойчивое развитие транспортной инфраструктуры в городах Казахстана напрямую связано с надежностью и предсказуемостью работы улично-дорожной сети в течение всего года. Для Астаны, как динамично растущего города и административного центра, качество покрытия является не только инженерной задачей, но и фактором доступности услуг, безопасности движения и эффективности городских перевозок. Любое снижение эксплуатационных свойств покрытия приводит к росту времени в пути, повышению затрат на обслуживание транспорта, увеличению аварийности и, как следствие, дополнительным выбросам и социально-экономическим потерям [3].

Климатические условия северного и центрального Казахстана формируют уникальный профиль нагрузок на дорожные конструкции. Длительная зима с устойчивыми отрицательными температурами чередуется с межсезонными периодами частых переходов температуры через 0°C, когда происходит многократное замерзание и оттаивание влаги в порах покрытия и основании. Эти процессы вызывают внутренние напряжения, ускоряют развитие трещин, облегчают проникновение воды и приводят к потере сцепления на границе «битум–заполнитель», что является одной из ключевых причин снижения водостойкости асфальтобетонных смесей [12].

Одновременно глобальные и региональные климатические изменения меняют как средние значения температур, так и характеристики экстремумов. Наблюдения по территории Казахстана фиксируют устойчивый рост температуры и изменение повторяемости периодов аномального тепла, а также указывают, что оттепели в холодный период могут повышать риск образования льда на дорогах при последующем возврате морозов (Kazhydromet, 2025). Для дорожных активов это означает, что традиционные проектные допущения о «нормальном» режиме промерзания-оттаивания требуют актуализации, а управление сетью должно учитывать рост неопределенности в сценариях эксплуатации [8].

Цель исследования состоит в обосновании подхода к климатической устойчивости дорожных покрытий для условий Астаны через анализ влияния температурных перепадов и разработку принципов управления жизненным циклом, совмещающих инженерные меры долговечности и инструменты принятия решений на уровне сети. Задачи включают систематизацию механизмов разрушения покрытия при температурных циклах, формирование индикаторов климатической экспозиции для городской сети, а также

разработку рекомендаций по включению этих индикаторов в процессы планирования содержания и ремонта на основе анализа стоимости жизненного цикла.

2. Материалы и методы

Исследование выполнено как аналитическая работа, сочетающая обзор литературы и методическую разработку прикладной модели принятия решений для городской сети. На первом этапе проведен отбор публикаций 2021–2025 годов по тематике морозного разрушения асфальтобетона, влаго-повреждаемости, влияния противогололедных реагентов, а также инструментов управления активами и оценки жизненного цикла. Приоритет отдавался рецензируемым источникам, индексируемым в международных базах, и официальным отчетам организаций, отвечающих за климатический мониторинг и инфраструктурную политику [1].

На втором этапе сформирован набор климатических индикаторов, достаточных для учёта воздействия температурных перепадов на покрытие в условиях Астаны. В качестве базовых показателей предложены: частота переходов температуры через 0°C в суточном масштабе, амплитуда суточных и сезонных колебаний, длительность периодов устойчивого холода, показатели увлажнения и условия зимнего содержания, влияющие на поступление влаги и солевых растворов в структуру покрытия. Концептуально эти параметры объединяются в индекс климатической экспозиции, позволяющий сравнивать участки улично-дорожной сети (УДС) города Астаны по уровню потенциального риска ускоренной деградации.

На третьем этапе индикаторы экспозиции увязаны с типовыми механизмами повреждений и показателями состояния покрытия, применяемыми в системах управления дорожными активами. В качестве показателей состояния рассматриваются индексы ровности, трещинообразования и выбоинообразования, а также параметры несущей способности, которые могут измеряться традиционными методами обследования. Для стратегического уровня планирования предложено опираться на принципы управления активами, закрепленные в ISO 55000, и использовать расширенный анализ стоимости жизненного цикла с учетом затрат агентства и пользователей, а также экологических эффектов, рассматриваемых в life cycle assessment-подходах к дорожным конструкциям [9].

Таким образом, методология объединяет климатическую характеристику «нагрузки», инженерное состояние покрытия и экономико-экологическую оценку альтернативных решений. Это позволяет перейти от реактивного устранения дефектов к профилактическому управлению рисками и обоснованию оптимальных вмешательств в жизненном цикле дорожной сети.

3. Результаты

Анализ литературных источников показывает, что для асфальтобетонных покрытий в холодных регионах критичен не столько абсолютный минимум температуры, сколько сочетание низкотемпературной хрупкости вяжущего, присутствия влаги и повторяемости циклов замерзания–оттаивания. Лабораторные исследования демонстрируют снижение прочностных характеристик и показателей водостойкости смесей по мере увеличения числа циклов, причем деградация ускоряется при одновременном воздействии влаги и повторного насыщения через возникающие микротрещины [3]. Для городской сети Астаны это особенно актуально в межсезонье, когда трещины, образованные в зимний период, становятся каналами для воды, а ночные заморозки переводят влагу в лед с объёмным расширением.

Дополнительным фактором выступают противогололедные реагенты. Литературный обзор и анализ источников показывает, что солевые растворы могут усиливать водное повреждение и изменять условия замерзания влаги в порах, ухудшая показатели стабильности смеси при повторных циклах [7]. При высоких темпах зимнего содержания,

характерных для столичного города, это требует рассматривать выбор реагентов и режимы их применения как элемент стратегии долговечности покрытия, а не только как оперативную меру обеспечения сцепления.

Предложенный индекс климатической экспозиции для Астаны позволяет связать климатические параметры с выбором конструктивных и эксплуатационных решений. Высокие значения индекса указывают на приоритет использования смесей с повышенной трещиностойкостью при низких температурах, усиленных мер водоотвода и контроля пористости, а также на необходимость более плотного графика профилактических работ по герметизации трещин и защите верхнего слоя. На уровне основания и грунтового полотна индикаторы экспозиции подчеркивают значимость морозостойких материалов, снижения капиллярного поднятия влаги и управления режимом промерзания через конструктивные слои.

В рамках управления жизненным циклом полученные результаты трансформируются в правила принятия решений: при заданной целевой надежности и допустимом уровне дефектов выбираются интервалы профилактических вмешательств, которые минимизируют суммарные затраты жизненного цикла. Современные обзоры “life cycle assessment/ life cycle cost analysis” указывают, что экономическая эффективность дорожных решений существенно зависит от своевременности работ в «окне» до лавинообразного роста выбоин и разрушений, когда стоимость и социальные потери от ремонта резко увеличиваются [1]. С учетом этого для условий Астаны приоритетом становится раннее обнаружение трещин и локальная защита покрытия в периоды повышенного риска замерзания–оттаивания, что снижает потребность в капитальных ремонтах и стабилизирует бюджет содержания [2].

4. Обсуждение

Полученные выводы согласуются с современными представлениями о многокомпонентной природе повреждений в холодном климате, где климатическая нагрузка, транспортные воздействия и состояние водоотвода формируют единый механизм деградации. Модели, учитывающие совместное действие влаги, трафика и циклов замерзания–оттаивания, показывают важность «ускорения» повреждений после появления первичных дефектов, когда эффективная пористость возрастает и система начинает накапливать влагу [11]. Это подтверждает целесообразность профилактических вмешательств и мониторинга как центрального элемента климатической устойчивости сети.

С точки зрения климатической адаптации дорожных активов важным является переход от оценки только исторических норм к учету наблюдаемых тенденций и сценарной неопределенности. Национальные климатические бюллетени отмечают рост температуры и изменение экстремумов, а также указывают на инфраструктурные последствия, включая деформации дорожного покрытия в жаркий период и риск образования гололеда при зимних оттепелях [10]. На уровне проектирования это означает необходимость подбора битумного вяжущего (дорожный битум БНД или полимер-битумное вяжущее ПБВ/РМВ) и типа асфальтобетонной смеси (например, плотный асфальтобетон или ЩМА), устойчивых как к низкотемпературному растрескиванию, так и к высокотемпературной колееобразующей деформации, а также пересмотра регламентов зимнего содержания с учётом влияния реагентов на долговечность [7].

Предлагаемый подход к управлению жизненным циклом дополняет традиционные системы управления покрытиями включением климатической экспозиции как фактора приоритизации. Для уровня местных исполнительных органов (акиматов) это практично по двум причинам. Во-первых, оно позволяет объяснять различия в темпах деградации участков сети не только трафиком, но и микроклиматическими особенностями, включая участки с повышенной затененностью, интенсивным снегозаносом и повторным увлажнением. Во-вторых, интеграция индекса экспозиции с life cycle cost analysis позволяет

переводить климатический риск в экономические категории и сравнивать альтернативы не по начальному бюджету, а по суммарным издержкам и риску отказа.

Отдельного внимания заслуживает вопрос управляемости данных. Международные исследования по развитию показателей состояния и методологий управления активами предлагают расширять набор «опережающих» метрик, пригодных для планирования жизненного цикла и настройки систем мониторинга [5]. Для Астаны это открывает возможность внедрять регулярный контроль трещин, влажностного состояния и качества водоотвода, а также формировать цифровую историю ремонтов, что повышает точность прогнозов и делает бюджетирование более устойчивым. При этом реализация подхода должна учитывать организационные ограничения на уровне местных исполнительных органов (акиматов) и поэтапно внедряться в рамках дорожного управления и экологически ориентированных решений, что отражено в современных рекомендациях по Pavement Management System для органов управления дорожной сетью на уровне акиматов [6].

5. Выводы

Условия г. Астаны формируют одну из наиболее выраженных климатических нагрузок на дорожные покрытия среди крупных городов Республики Казахстан: длительный период отрицательных температур сочетается с резкими сезонными и суточными перепадами, а межсезонье характеризуется частыми переходами температуры через 0 °C. По сведениям РГП «Казгидромет», средняя температура января для столицы составляет около −14,2 °C, июля — около +20,8 °C, а в истории наблюдений отмечены экстремальные значения до −51,6 °C и +41,6 °C [10]. На этом фоне научные данные подтверждают, что повторяемость циклов замерзания–оттаивания в присутствии влаги, а также воздействие противогололёдных реагентов снижает прочностные характеристики смеси и ускоряет развитие трещин, которые в конце зимы и весной переходят в выбоины и деформации [12].

Предложен подход, связывающий климатические индикаторы экспозиции с механизмами повреждений, показателями состояния покрытия и инструментами управления жизненным циклом. Для Астаны практическая интерпретация подхода заключается в том, что решения по материалам и конструкциям должны одновременно учитывать риск низкотемпературного растрескивания и риск летних термопластических деформаций, а планирование работ — опираться на сезонные «окна» риска. В частности, профилактическая герметизация трещин и восстановление водоотвода до начала зимнего периода снижает водопроницаемость покрытия и уменьшает вероятность ускоренного разрушения в фазе оттепелей и возврата морозов. На уровне сети использование индекса экспозиции в сочетании с life cycle cost analysis - оценкой позволяет обосновывать интервалы профилактических вмешательств и приоритеты ремонта не по начальному бюджету, а по суммарным издержкам и риску отказа, что важно для столичного города с высокой интенсивностью движения и ограниченными временными окнами для ремонта.

Практическая значимость подхода состоит в возможности перейти от реактивной модели устранения дефектов к профилактическому управлению дорожными активами, снижая долю аварийных ремонтов и повышая стабильность бюджета содержания, безопасность и устойчивость городской мобильности Астаны. Дополнительный эффект связан с управлением данными: формирование цифровой истории ремонтов, регулярное наблюдение (мониторинг) за раскрытием трещин и очагами повторного увлажнения, а также интеграция открытых климатических сведений в систему планирования повышают точность прогнозов деградации и позволяют лучше координировать работы с графиком зимнего содержания. Перспективы дальнейших исследований связаны с построением количественных карт климатической экспозиции (ГИС-слоёв, где каждому сегменту улично-дорожной сети присваивается численный индекс климатического риска) для улично-дорожной сети Астаны на основе метеорологических рядов, калибровкой

прогнозных моделей по фактическим обследованиям и разработкой регламентов, которые учитывают не только трафик, но и климатический риск как отдельный параметр устойчивого развития транспортной инфраструктуры.

В образовательном и научно-практическом контексте наша столица представляет собой удобный «полигон» для тиражируемых исследований: сочетание континентального климата, интенсивной эксплуатации и активной городской реконструкции позволяет сопоставлять участки сети по экспозиции, состоянию и эффективности вмешательств. Включение таких исследований в проектную деятельность обучающихся даёт возможность формировать доказательные рекомендации для городских служб по выбору дорожно-строительные материалы, которые формируют и “лечат” покрытие улично-дорожной сети, по режимам применения реагентов и по профилактическим стратегиям, ориентированным на жизненный цикл и на снижение климатически обусловленных потерь.

Литература:

1. Alaloul, W. S., Altaf, M., Musarat, M. A., Faisal Javed, M., & Mosavi, A. (2021). Systematic review of life cycle assessment and life cycle cost analysis for pavement and a case study. Sustainability, 13(8), 4377. https://doi.org/10.3390/su13084377
2. Asadi Azadgoleh, M., Mohammadi, M. M., AzariJafari, H., Santos, J., Ahmadi, A., Alavi, M. Z., & Ayar, P. (2024). A comparative life cycle assessment (LCA), life cycle cost analysis (LCCA), mechanical and long-term leaching evaluation of road pavement structures containing multiple secondary materials. Journal of Cleaner Production, 458, 142484. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142484
3. Cao, H., Chen, T., Zhu, H., & Ren, H. (2022). Influence of frequent freeze–thaw cycles on performance of asphalt pavement in high-cold and high-altitude areas. Coatings, 12(6), 752. https://doi.org/10.3390/coatings12060752
4. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. (2021). Kazakhstan: Economy-wide effects of adaptation in infrastructure (Sectoral policy brief). https://www.giz.de/de/downloads/kazakhstan-economy-wide-effects-of-adaptation-in-infrastructure.pdf
5. Federal Highway Administration. (2024). Development of next-generation pavement performance measures and asset management methodologies to support MAP-21 performance management objectives (FHWA-HRT-23-102). https://doi.org/10.21949/1521432
6. Grilli, A., & Balzi, A. (2023). Methodologic recommendations to implement pavement management systems and eco-sustainable solutions for local road administrations. Infrastructures, 8(2), 25. https://doi.org/10.3390/infrastructures8020025
7. Guo, M., Kovalskiy, V. P., Nian, T., & Li, P. (2023). Influence of deicer on water stability of asphalt mixture under freeze–thaw cycle. Sustainability, 15(18), 13707. https://doi.org/10.3390/su151813707
8. Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). Climate change 2021: The physical science basis. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781009157896
9. ISO. (2025). ISO 55000:2025 Asset management — Vocabulary, overview and principles. International Organization for Standardization. https://www.iso.org/standard/83053.html
10. Kazhydromet. (2025). Annual bulletin of monitoring status and climate change of Kazakhstan: 2025. Republican State Enterprise “Kazhydromet”. https://www.kazhydromet.kz/uploads/files/1891/file_en/675274f0f001bezhegodnyy-byulleten-ik-za-2025_eng_ot_27-11-2025.pdf
11. Lövqvist, L., Balieu, R., & Kringos, N. (2022). Multiscale model for predicting freeze-thaw damage in asphalt mixtures. International Journal of Pavement Engineering, 23(14), 5048–5065. https://doi.org/10.1080/10298436.2021.1991580

12. Neupane, P., & Wu, S. (2025). A comprehensive review of moisture damage in asphalt mixtures: Mechanisms, evaluation methods, and mitigation strategies. Construction and Building Materials, 471, 140740. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.140740
13. Syzdykbayeva, B., Raimbekov, Z., Baiburiev, R., & Dulatbekova, Z. (2025). Improving the transport and logistic infrastructure of a city using the graph theory method: The case of Astana, Kazakhstan. Sustainability, 17(6), 2486. https://doi.org/10.3390/su17062486