

**УДК 625.7**

**ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ  
УСТОЙЧИВОСТИ ДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ  
УЗБЕКИСТАНА В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА**

*Салимова Барно Джамаловна*

*кандидат технических наук, профессор,  
кафедра изысканий и проектирования автомобильных дорог,  
Ташкентский Государственный Транспортный университет,  
г. Ташкент, Республика Узбекистан*

*Ходан Елена Петровна*

*заведующий кафедрой,  
кафедра автомобильных дорог, факультет транспортных  
коммуникаций,  
Белорусский Национальный Технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь*

***Аннотация:***

*Представленное исследование имеет важное значение для Узбекистана, так как страна является одной из наиболее уязвимых к изменению климата. Анализ статистических данных ряда климатических исследований показывает, что в Узбекистане наблюдается тенденция к повышению температуры воздуха, увеличению количества дней с экстремально высокими температурами и повышению частоты и интенсивности осадков. Эти изменения создают определенные угрозы устойчивости дорожной инфраструктуры, приводя к преждевременному износу и разрушению дорожных покрытий. В статье представлены примеры успешных проектов в зарубежных странах, направленных на решение аналогичных проблем. Предложенные меры по адаптации дорожной инфраструктуры к существующим и прогнозируемым*

*климатическим условиям Узбекистана могут способствовать повышению устойчивости дорожно-транспортной инфраструктуры, долговечности автомобильных дорог.*

*Ключевые слова: изменение климата, дорожная инфраструктура, Узбекистан, адаптация, меры по улучшению автомобильных дорог, опыт зарубежных стран.*

**INNOVATIVE SOLUTIONS FOR ENHANCING THE  
RESILIENCE OF ROAD INFRASTRUCTURE IN UZBEKISTAN  
UNDER CLIMATE CHANGE CONDITIONS**

***Barno Dzhamalovna Salimova***

*Candidate of Technical Sciences, Professor,  
Department of Survey and Design of Automobile Roads,  
Tashkent State Transport University,  
Tashkent, Republic of Uzbekistan*

***Elena Petrovna Khodan,***

*Chairperson,  
Department of Automobile Roads, Faculty of Transportation  
Communications,  
Belarusian National Technical University,  
City of Minsk, Republic of Belarus.*

***Abstract:***

*The presented study holds significant importance for Uzbekistan, as the country is among the most vulnerable to climate change. Analysis of statistical data from various climate studies indicates a trend of rising air temperatures, an increase in the number of days with extremely high temperatures, and heightened frequency and intensity of precipitation in Uzbekistan. These changes pose specific threats to the resilience of road infrastructure, leading to*

*premature wear and deterioration of road surfaces. The article showcases examples of successful projects in foreign countries aimed at addressing similar challenges. The proposed measures for adapting road infrastructure to the existing and projected climatic conditions in Uzbekistan can contribute to the enhancement of the resilience of road transportation infrastructure and the durability of roadways.*

**Keywords:** *climate change, road infrastructure, Uzbekistan, adaptation, measures for improving roads, experiences of foreign countries.*

## **Введение**

Изменение климата является одной из наиболее актуальных проблем современности. Оно оказывает негативное влияние на различные сферы человеческой деятельности, в том числе на транспортную инфраструктуру [1]. В Узбекистане, как и в других странах Центральной Азии, дорожная инфраструктура является критически важной для обеспечения экономического роста и развития [2]. Однако изменения климата создают серьезные угрозы для ее устойчивости, в частности, приводя к преждевременному износу и разрушению дорожных покрытий [3].

Проведенное нами исследование направлено на изучение основных трендов в изменении климата на территории Узбекистана, и поиск эффективных решений для адаптации дорожной инфраструктуры к новым климатическим условиям.

На территории Узбекистана преобладает аридный климат с ограниченными осадками и низкой влажностью, характеризующийся исключительно высокими летними температурами, острыми колебаниями температур воздуха и интенсивными дождями, приводящими к потокам грязи и наводнениям. Анализ статистических данных, климатических исследований, проводимых на территории Узбекистана и

Центральноазиатского региона, позволяет делать некоторые прогнозы по изменению климата в данном регионе.

Инструментальные измерения с конца 19-го века, свидетельствует о заметном увеличении температур воздуха в Центральной Азии. В летний период абсолютные максимумы температур в пустынях Каракум и Кызылкум, все чаще переваливают отметку 45-49°C. Глобальные климатические изменения приводят к повышению среднегодовых температур воздуха. В частности, сравнение температурных трендов показывает увеличение на 2,4°C и 1,8°C на метеостанциях Ташкента и Андижана соответственно (рисунок 1). Увеличивается количество дней с высокими температурами. Например, в 2019 году в Ташкенте было в два раза больше дней с температурой выше 38°C по сравнению с нормой [4]. Прогнозируемые изменения в климате предполагают продолжение тенденции повышения температуры воздуха в Узбекистане, и к 2030 году средняя температура может увеличиться на 1,0-1,4°C. В контексте глобального потепления возрастает риск экстремальных тепловых волн [5].

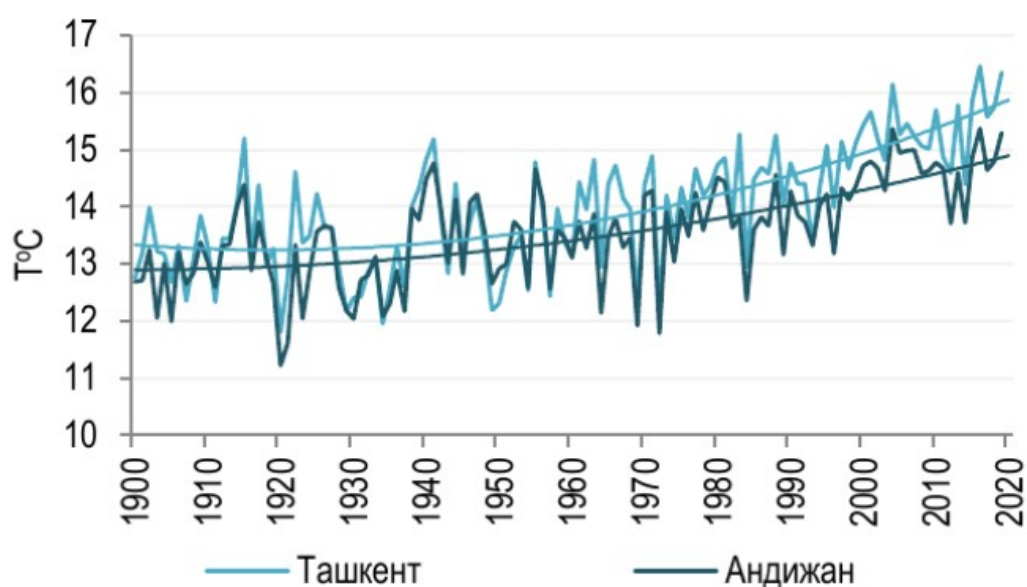


Рис. 1. Изменение среднегодовых температур воздуха на метеостанциях в Андижане и Ташкенте (Источник [4])

Узбекистан характеризуется значительными колебаниями температур, типичными для континентального климата, с различиями между дневными и ночными температурами, а также между летними и зимними сезонами. Летние температуры в равнинных и предгорных областях колеблются от 25 до 39°C, а зимой могут достигать -25°C [6]. Холодные зимы на равнинной территории обусловлены географическим положением и возможностью проникновения холодных воздушных масс с северной части континента, не огороженной горными массивами. В горных районах Узбекистана постоянные температурные колебания от минусовой до плюсовой температуры в течение одного дня обусловлены низкой тепловой инерцией горных массивов, повышенной солнечной активностью и низкой влажностью воздуха, что в совокупности создает условия для быстрого прогрева и быстрого охлаждения воздуха и частого перехода через отметку 0°C.

Прогнозируется увеличение осадков в равнинных и предгорных районах до 50 мм к 2030 году, увеличение интенсивности и частоты ливневых дождей [7]. Прогнозы Центральноазиатского регионального экономического сотрудничества указывают на возможное усиление экстремальных осадков в Узбекистане к 2050 году, с варьированием в зависимости от региона и сезона. Ожидается увеличение среднегодового количества осадков на 10-20% в западных районах по сценарию RCP 4.5 и умеренное увеличение на большей части территории страны по сценарию RCP 8.5. Особенно значительное увеличение ожидается в весенние и летние месяцы, при этом в отдельных регионах прогнозируется небольшое снижение интенсивности экстремальных осадков [8].

Таким образом, мы можем говорить о наличии таких важных климатических фактора как:

- Рост количества дней с экстремально высокими температурами воздуха.
- Постоянные температурные колебания с частым переходом через отметку 0°C.
- Повышение количества интенсивных осадков.

Данный анализ подчеркивает важность усовершенствования инфраструктурных стратегий с целью обеспечения устойчивости и адаптивности автомобильных дорог к существующим и прогнозируемым климатическим условиям в Узбекистане. Необходимо применение передовых технологий и инновационных материалов для повышения устойчивости дорожных покрытий в условиях изменяющегося климата. В этой связи немаловажным становится изучение опыта стран, столкнувшихся со схожими климатическими вызовами, угрожающими стабильности и эффективности дорожных систем и уже внедрившими отдельные решения. Каждая из стран решает проблемы устойчивости дорожных покрытий, адаптируясь к особенностям своего климата и используя инновационные технологии для обеспечения долговечности и безопасности дорожной инфраструктуры. Мы приведем несколько примеров, актуальных для климата Узбекистана.

### **1. Теплорефлективные асфальтовые смеси.**

Цель: Снижение поглощения солнечной энергии, смягчение тепловых воздействий, повышение устойчивости и долговечности дорожных покрытий.

В США штат Калифорния активно применяет теплорефлективные асфальтовые смеси для борьбы с проблемами, связанными с высокими температурами [9]. Используя инновационные составы, содержащие высокоотражающие микрогранулы, строители дорог стремятся снизить поглощение солнечной энергии асфальтовыми покрытиями и, таким

образом, смягчить тепловые воздействия, что приводит к более устойчивым и долговечным дорожным покрытиям.

## **2. Резиновые асфальтовые смеси.**

**Цель:** Эффективное использование ресурсов, придание асфальту дополнительных эластичных свойств, увеличение устойчивости покрытия к механическим воздействиям и температурным колебаниям.

В Нидерландах вопрос устойчивости дорожных покрытий решается путем использования резиновых асфальтовых смесей, в которые интегрированы отходы от переработки автомобильных шин [10]. Технология успешно сочетает в себе аспекты повышения износостойкости и экологичности.

## **3. Полимерные материалы в асфальтовых смесях.**

**Цель:** Высокая устойчивость к атмосферным осадкам и ультрафиолетовому излучению, продление срока службы, снижение затрат на ремонт.

В Японии, Германии, Великобритании использование полиуретанов и полиэтиленов в асфальтовых смесях [11] стало важной частью стратегии создания прочных и экологичных дорожных покрытий. Такие материалы обеспечивают высокую устойчивость к атмосферным осадкам и ультрафиолетовому излучению, что в конечном итоге приводит к более долгому сроку службы и снижению затрат на регулярные ремонтные работы.

## **4. Управляемые дренажные системы для автоматического регулирования стоков воды.**

**Цель:** Предотвращение образования луж на дорогах, повышение безопасности движения, адаптация к интенсивным ливням.

Дренажные системы с управлением стоками активно применяются в Швеции для борьбы с последствиями интенсивных ливней. Системы автоматически регулируют стоки воды в зависимости от интенсивности

осадков, предотвращая образование луж и повышая безопасность движения.

В Нидерландах создана разветвленная система каналов и резервуаров для эффективного сбора и отвода ливневых вод. Интегрированные дренажные каналы, оснащенные сенсорами и системами управления, позволяют регулировать стоки воды в реальном времени, предотвращая образование луж и минимизируя риск затоплений на дорогах.

В Японии, где встречаются сильные муссоны и тайфуны, использование технологий "гидроинженерии" стало важным аспектом систем дренажа. В городах, таких как Токио, инфраструктура включает в себя подземные резервуары, способные временно поглощать и удерживать большие объемы воды в периоды интенсивных дождей, предотвращая возможные наводнения и повреждения дорожных покрытий.

В Австралии применяются так называемые "промежуточные водоотводы", которые направляют воду в специальные резервуары с фильтрационными системами. Это позволяет не только предотвратить негативные экологические последствия, но и переработать ливневые воды для дополнительного использования в сельском хозяйстве или других областях.

Применяемые в развитых странах инновационные системы контроля дренажа воды не только снижают риск затоплений дорожных инфраструктур, но и способствуют сохранению биоразнообразия, обеспечивая устойчивость дренажной инфраструктуры в условиях переменчивого климата [12].

## **5. Использование геосинтетические материалы для укрепления склонов и предотвращения оползней.**

Цель: Создание стабильных и прочных дорожных конструкций в условиях изменчивого климата.



Важный аспект инноваций в проектировании дорог для горных районов проявляется в использовании геосинтетических материалов для укрепления склонов и предотвращения оползней [13]. Опыт Швейцарии в строительстве дорог в Альпах демонстрирует эффективность применения геосинтетиков для создания стабильных и прочных склонов, способных выдерживать воздействие атмосферных осадков и изменения температур.

## **Выводы**

Таким образом, анализ статистических данных и климатических исследований, проводимых в Узбекистане и Центральноазиатском регионе, позволяет сделать следующие выводы:

1. В Узбекистане наблюдается тенденция к повышению температуры воздуха, увеличению количества дней с экстремально высокими температурами и повышению частоты и интенсивности осадков.

2. Данные изменения создают определенные угрозы устойчивости дорожной инфраструктуры, приводя к преждевременному износу и разрушению дорожных покрытий.

В качестве мер по адаптации дорожной инфраструктуры к новым климатическим условиям предлагается использовать опыт зарубежных стран, основывающийся на передовых технологиях и инновационных материалах:

- Теплорефлективные асфальтовые смеси для снижения поглощения солнечной энергии и смягчения тепловых воздействий.
- Резиновые асфальтовые смеси для повышения износостойкости и экологичности дорожных покрытий.
- Полимерные материалы в асфальтовых смесях для повышения устойчивости к атмосферным осадкам и ультрафиолетовому излучению.

- Управляемые дренажные системы для автоматического регулирования стоков воды и предотвращения подтоплений дорожного полотна и наводнений.
- Использование геосинтетических материалов для укрепления склонов и предотвращения оползней.

#### **Использованные источники:**

1. Хлебникова Е. И., Дацюк Т. А., Салль И. А. Воздействие изменений климата на строительство, наземный транспорт, топливно-энергетический комплекс //Труды Главной геофизической обсерватории им. АИ Воейкова. – 2014. – №. 574. – С. 125-178.
2. Шадиметов Ю. Ш., Айрапетов Д. А. Устойчивый транспорт, важнейший аспект современной транспортной политики //The scientific heritage. – 2022. – №. 98. – С. 6-10.
3. Khalilov R. Impact of the temperature factor on the quality of road clothes //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – Т. 402. – С. 12021.
4. Первый двухгодичный отчет по обновленным данным республики Узбекистан. Подготовлен в соответствии с рамочной конвенцией ООН об изменении климата. Ташкент 2021. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/FBURUzru.pdf> (дата обращения: 17.01.2024).
5. Мягкова Н. В. Экологические аспекты изменения климата в Узбекистане //Universum: технические науки. – 2019. – №. 2 (59). – С. 5-8.
6. Салимова Б. Д., Худайкулов Р. М. Влияние климатических факторов на выбор типа дорожной одежды //Проблемы современной науки и образования. – 2020. – №. 10 (155). – С. 27-30.

7. Салимова Б. Д., Махкамов Б. Р. О совершенствовании системы сбора и отвода ливневых стоков с автомобильных дорог в Ташкенте //Universum: технические науки. – 2020. – №. 1 (70). – С. 55-57.
8. Профиль страновых рисков. Узбекистан. TA-9878 REG: Разработка механизма переноса рисков бедствий в странах Центрально-Азиатского регионального экономического сотрудничества. — Текст : электронный // CAREC Program : [сайт]. — URL: [https://www.carecprogram.org/uploads/CAREC-Risk-Profiles\\_Uzbekistan\\_Rus.pdf](https://www.carecprogram.org/uploads/CAREC-Risk-Profiles_Uzbekistan_Rus.pdf) (дата обращения: 17.01.2024).
9. Tsai F. L., Lytton R. L., Lee S. I. Prediction of reflection cracking in hot-mix asphalt overlays //Transportation research record. – 2010. – Т. 2155. – №. 1. – С. 43-54.
10. Rath P. et al. Performance analysis of asphalt mixtures modified with ground tire rubber modifiers and recycled materials //Sustainability. – 2019. – Т. 11. – №. 6. – С. 1792.
11. Mahida S. et al. A review on polymers additives in flexible pavement //Journal of Materials Science. – 2023. – Т. 58. – №. 14. – С. 6106-6123.
12. Ochoa D. et al. Control of urban drainage systems: Optimal flow control and deep learning in action //2019 American control conference (ACC). – IEEE, 2019. – С. 4826-4831.
13. Sujatha E. R., Sudarsan J. S., Nithiyantham S. A review on sustainable reinforcing techniques to stabilize slopes against landslides //International Journal of Environmental Science and Technology. – 2023. – С. 1-10.