

## РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДОРОЖНЫМИ АКТИВАМИ (СУДА) НА ОСНОВЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

С.Б. Мирзозода, Ф.С. Мирзоев

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В статье рассмотрены направления развития системы управления дорожными активами (СУДА) Республики Таджикистан с применением цифровых технологий и инструментов искусственного интеллекта (ИИ). Проанализированы современные подходы к цифровизации инфраструктуры, методы интеллектуальной диагностики и прогнозирования состояния дорожных покрытий. Предложена модель интеграции ИИ-аналитики, ГИС и цифровых двойников в единую платформу управления дорожной сетью.

**Ключевые слова:** СУДА, цифровизация, искусственный интеллект, дорожные активы, цифровой двойник, управление инфраструктурой.

### ТАҲИЯИ СИСТЕМАИ ИДОРАКУНИИ ДОРОИҲОИ РОҲ (СИДР) ДАР АСОСИ ТЕХНОЛОГИЯҲОИ РАҚАМӢ ВА ЗЕҲНИ СУНӢ

С.Б. Мирзозода, Ф.С. Мирзоев

Дар ин мақола самтҳои рушди системай идоракунни дороиҳои роҳ (СИДР) дар Ҷумҳурии Тоҷикистон бо истифода аз технологияҳои рақамӣ ва абзорҳои зеҳни сунӣ (ЗС) баррасӣ мешаванд. Равишҳои мусоир ба рақамикунонии инфрасохтор, усулҳои ташҳиси интеллектуали ва пешӯии ҳолати рӯйбӯши роҳ таҳлил карда мешаванд. Модели ҳамгирои таҳлили зеҳни сунӣ, GIS ва дугоникҳои рақамӣ ба платформа ягона идоракунни шабакаи роҳ пешниҳод карда мешавад.

**Калидвоҷаҳо:** СИДР, рақамикунӣ, зеҳни сунӣ, дороиҳои роҳ, дугоникӯи рақамӣ, идоракунни инфрасохтор.

### DEVELOPMENT OF A ROAD ASSET MANAGEMENT SYSTEM (RAMS) BASED ON DIGITAL TECHNOLOGIES AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE

S.B. Mirzozoda, F.S. Mirzoev

This article examines the development trends of the Road Asset Management System (RAMS) in the Republic of Tajikistan using digital technologies and artificial intelligence (AI) tools. Modern approaches to infrastructure digitalization, methods for intelligent diagnostics, and road surface condition forecasting are analyzed. A model for integrating AI analytics, GIS, and digital twins into a unified road network management platform is proposed.

**Keywords:** RAMS, digitalization, artificial intelligence, road assets, digital twin, infrastructure management.

### Введение

Современная дорожная отрасль переживает цифровую трансформацию, основанную на использовании технологий анализа больших данных, искусственного интеллекта (ИИ) и цифровых платформ управления активами. Для Таджикистана, где протяжённость дорожной сети превышает 26300 км, переход к интеллектуальной модели управления является стратегическим направлением устойчивого развития транспортной инфраструктуры [1, 2].

Создание и развитие национальной системы управления дорожными активами (СУДА) предполагает интеграцию цифровых решений: ГИС-платформ, систем диагностики RTRRMS, анализа IRI/PCI и прогнозных моделей на основе ИИ. Это позволит повысить точность оценки состояния автомобильных дорог, оптимизировать ремонты и обеспечить рациональное распределение ограниченных ресурсов [3].

### Цифровизация и концепция СУДА

Система управления дорожными активами (СУДА, англ. *Road Asset Management System - RAMS*) представляет собой комплекс организационно-технических, цифровых и аналитических инструментов, предназначенных для обеспечения рационального использования, содержания и восстановления автомобильных дорог на протяжении всего их жизненного цикла [4].

В соответствии с определениями AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) и PIARC, управление дорожными активами - это процесс, основанный на данных (*data-driven management* - управление на основе данных), направленный на достижение баланса между уровнем обслуживания, безопасностью и затратами на протяжении всего срока эксплуатации [5].

### Структура и основные функции СУДА

Современная СУДА включает пять ключевых функциональных блоков:

1. *Инвентаризация активов* – создание цифрового реестра всех элементов дорожной инфраструктуры: дорог, мостов, тоннелей, труб, дренажных систем, опор освещения и т.д. Для каждого объекта формируется уникальный идентификатор, технический паспорт и географическая привязка в ГИС.

2. *Диагностика и мониторинг состояния* – сбор данных с мобильных лабораторий (RTRRMS, FWD, LIDAR, дроны), определение показателей IRI, PCI, MPD, глубины колеи и других индикаторов. Эти данные преобразуются в цифровые форматы и интегрируются в центральную базу.

3. *Планирование ремонтов и инвестиций* – на основе алгоритмов приоритизации система определяет оптимальный набор ремонтных мероприятий, учитывая техническое состояние, интенсивность движения, категорию дороги и ограниченный бюджет.

4. *Оценка экономической эффективности* – расчёт ключевых показателей эффективности, таких как **NPV** (Net Present Value - Чистая текущая стоимость или Чистый дисконтированный доход), **PI** (Profitability Index - Индекс доходности), **ROI / Э** (Return on Investment / Экономическая эффективность) и **IRR** (Internal Rate of Return - Внутренняя норма доходности), с целью обоснования приоритетов финансирования.

5. *Прогнозирование и аналитика* – использование моделей деградации покрытий и инструментов машинного обучения для прогнозирования состояния сети на 3-5 лет вперёд и оценки влияния различных стратегий ремонта [6].

### **Цифровая концепция управления активами**

Цифровизация дорожного хозяйства предполагает переход от традиционных методов планирования (основанных на экспертных оценках) к интеллектуальной модели управления активами, где решения принимаются на основе больших данных, прогнозных моделей и автоматизированных алгоритмов.

Основные элементы цифровой концепции СУДА:

- *Интегрированные базы данных* – централизованное хранение информации о дорогах, мостах, сооружениях, дефектах и ремонтных мероприятиях;
- *ГИС-платформа* – визуализация объектов инфраструктуры, пространственный анализ и привязка всех данных к географическим координатам;
- *Модули анализа данных (Big Data Analytics)* – обработка больших массивов информации о дефектах, трафике и климате;
- *Интеллектуальные алгоритмы (AI/ML)* – прогнозирование износа, определение приоритетов ремонтов, выявление аномалий в данных;
- *Цифровые двойники (Digital Twins)* – моделирование поведения реальных дорог в виртуальной среде с возможностью сценарного анализа;
- *API-интеграция* – обмен данными между министерствами, подрядчиками, лабораториями и проектными институтами.

### **Актуальность внедрения СУДА для Таджикистана**

Для сети автомобильных дорог Таджикистана, где более 80 % дорог проходят в горных районах, средний возраст покрытий превышает 20 лет, а доля дорог в хорошем состоянии не превышает 45 %, внедрение цифровой СУДА позволяет решить три ключевые задачи:

1. *Повышение прозрачности управления* – за счёт перехода от экспертных оценок к измеримым цифровым показателям.
2. *Оптимизация бюджета* – перераспределение средств на основе объективных данных и прогнозов эффективности.
3. *Увеличение срока службы дорог* – за счёт применения принципа «ремонт по состоянию» и предотвращения преждевременной деградации.

### **Этапы цифровизации СУДА**

Этап-1. *Инвентаризация активов*: создание геоинформационной базы данных дорог и объектов.

Этап-2. *Цифровая диагностика*: сбор показателей IRI, PCI, FWD, MPD, дефектов покрытия и подстилающих слоёв.

Этап-3. *Интеграция данных*: загрузка информации в ГИС-платформу и базу данных СУДА с API-доступом.

Этап-4. *Аналитика и прогнозирование*: применение алгоритмов машинного обучения (AI/ML) для моделирования износа и оценки остаточного ресурса.

Этап-5. *Принятие решений и мониторинг*: визуализация данных, расчёт экономических показателей (NPV, PI, ROI/Э) и формирование приоритетов ремонтов.

### **Международная практика внедрения СУДА**

В мировой практике разработано несколько эталонных систем управления дорожными активами, каждая из которых адаптируется под местные условия. В таблице 1 приведены международные системы управления дорожными активами и их особенности.

Таблица 1 - Особенности международных СУДА

Страна / организация	Система	Особенности системы
США	AASHTO PMS (Pavement Management System - Система управления дорожным покрытием)	Применяется во всех штатах; включает расчёты показателей PSI, IRI, SDI; интеграция с экономическими моделями.
Канада	TAC RAMS	Использует прогнозные модели на основе климатических и нагрузочных данных; поддержка облачных решений.
Великобритания	HMEP (Highways Maintenance Efficiency Programme - Программа повышения эффективности обслуживания автомобильных дорог)	Сфокусирована на оптимизации затрат и жизненного цикла дорог.
Европейский союз	HDM-IV (Highway Development and Management Model - Модель развития и управления автомагистралями)	Модель, применяемая в более чем 100 странах; расчёты жизненного цикла дороги и экономической эффективности ремонтов.
Казахстан / Узбекистан	СМАД (Road Asset Management Platform - Платформа управления дорожными активами)	Цифровая карта дорог, прогноз износа, интеграция с ГИС и HDM-IV; адаптация к горно-климатическим условиям.

### Ожидаемые результаты от внедрения СУДА

По данным исследований TRL и WSP [6, 7], внедрение СУДА обеспечивает:

- сокращение затрат на содержание сети на 15-25 %;
- увеличение доли дорог в хорошем состоянии до 60-70 %;
- повышение прозрачности финансирования и управляемости отрасли;
- ускорение подготовки отчетности и повышения уровня доверия инвесторов.

Для Таджикистана СУДА станет основой перехода к интеллектуальному управлению дорожной сетью, где каждое решение опирается на точные данные и цифровой анализ.

### Роль искусственного интеллекта (ИИ) в управлении дорожными активами

Применение ИИ открывает новые возможности в обработке и интерпретации данных о состоянии дорог. Рассмотрим основные направления применения ИИ [7, 8]:

1. *Компьютерное зрение* – автоматическое распознавание дефектов по фото- и видеоматериалам.
2. *Машинное обучение (ML)* – прогнозирование показателей IRI, PCI, MPD по историческим данным.
3. *Нейронные сети* – определение оптимальных стратегий ремонтов и оценки остаточного ресурса.
4. *Предиктивная аналитика* – моделирование сценариев деградации покрытия.

По данным WSP (2023) [9], применение ИИ в RAMS позволяет сократить время анализа данных на 40 % и увеличить точность прогнозов до 92 %.

### Структура интеграции цифровой СУДА с ИИ-модулями

Развитая СУДА включает пять взаимосвязанных модулей (см. Рис. 1):

1. *Модуль данных* – сбор и хранение информации о состоянии дорог (IRI, FWD, DCP).
2. *Модуль ГИС* – пространственное отображение активов и их технических характеристик.
3. *Модуль ИИ-аналитики* – прогнозирование, кластеризация дефектов, оптимизация ремонтов.
4. *Модуль экономической оценки* – расчёты NPV, PI и индекса эффективности проектов.
5. *Модуль управления* – формирование решений, визуализация отчётов, контроль исполнения.



Рисунок 1 - Структура цифровой СУДА с ИИ-модулями

На Рис.1 показаны потоки данных от сенсоров и диагностики через ГИС в ИИ-модуль (AI), далее – аналитический анализ и принятие инженерных решений.

### **Используемые технологии**

Развитие цифровой платформы управления дорожной инфраструктурой Таджикистана основано на интеграции передовых технологий, каждая из которых выполняет специфическую роль в формировании единой интеллектуальной экосистемы:

- IoT – датчики прогиба, вибраций, температуры, трафика;
- Big Data – интеграция больших массивов диагностических данных;
- AI/ML-алгоритмы – обучение моделей на данных RTRRMS;
- Digital Twin – создание цифрового двойника дороги;
- Cloud Platform – централизованное хранение данных с веб-доступом.

Совместное применение этих решений обеспечивает непрерывный цикл управления дорожными активами - от сбора данных до прогнозирования и принятия решений.

Далее рассмотрим более подробно каждую из этих технологий.

### **IoT (Internet of Things - Вещественный интернет)**

В дорожной отрасли IoT-технологии применяются для непрерывного мониторинга состояния дорог и транспортных потоков.

По периметру автомобильных дорог и мостов устанавливаются сенсоры, измеряющие:

- прогиб покрытия, отражающий несущую способность конструкции;
- вибрации и удары, связанные с динамическими нагрузками от транспорта;
- температуру и влажность, влияющие на процессы разрушения;
- интенсивность трафика и осевую нагрузку.

Передаваемые через GSM, LTE или спутниковые каналы данные поступают в облачный центр обработки, где формируются временные ряды и индексы эксплуатационного состояния.

Это позволяет в реальном времени отслеживать деградацию покрытия, выявлять аномалии и предупреждать аварийные участки.

### **Big Data – Обработка больших данных**

В результате цифровизации дорожного хозяйства формируются огромные массивы диагностической информации: данные RTRRMS, FWD, PCI, IRI, климатические и экономические показатели. Системы класса Big Data обеспечивают:

- интеграцию разнородных источников данных (лаборатории, подрядчики, датчики, ГИС);
- очистку, фильтрацию и стандартизацию поступающей информации;
- высокопроизводительный анализ для выявления закономерностей между состоянием дорог и внешними факторами (нагрузка, климат, возраст).

Использование Big Data повышает качество решений в СУДА, позволяя перейти от статистической статистики к динамическим аналитическим моделям, учитывающим региональные особенности дорожной сети Таджикистана [1].

### ***AI / ML (Artificial Intelligence / Machine Learning) – Искусственный интеллект и машинное обучение***

Технологии ИИ и машинного обучения занимают центральное место в интеллектуальной модели СУДА. На основании больших массивов данных, собранных системами RTRRMS и ГИС, обучаются модели, которые:

- прогнозируют скорость износа покрытия и изменение показателя IRI;
- определяют остаточный срок службы и вероятность возникновения дефектов;
- формируют приоритетные участки для ремонта с учётом экономических ограничений;
- выявляют аномалии, связанные с качеством ремонтов или нарушением технологии укладки.

Применение ИИ позволяет создать предиктивную модель управления, при которой система не только описывает текущее состояние, но и предсказывает его изменение на 1-3 года вперёд, что особенно важно в условиях ограниченного финансирования дорожного хозяйства [2].

### ***Digital Twin – Цифровой двойник дороги***

Цифровой двойник - это виртуальная копия дорожного объекта, отражающая его реальное состояние и поведение под воздействием транспортных, климатических и эксплуатационных факторов.

В рамках СУДА цифровой двойник включает:

- 3D-модель дорожной конструкции и инфраструктуры (мосты, дренаж, обочины);
- реальные эксплуатационные данные с IoT-датчиков;
- аналитические алгоритмы ИИ для прогнозирования износа.

Использование цифровых двойников позволяет моделировать сценарии ремонтов, оценивать эффективность различных материалов, рассчитывать ожидаемую долговечность и стоимость жизненного цикла дороги.

В перспективе такие модели могут применяться при проектировании и эксплуатации дорог международного значения (Душанбе-Худжанд, Душанбе-Куляб-Хорог) [3].

### ***Cloud Platform – Облачная платформа управления данными***

Все цифровые компоненты СУДА объединяются в облачную среду, обеспечивающую централизованное хранение, защиту и обмен данными.

Облачная платформа предоставляет:

- веб-доступ для пользователей (инженеров, аналитиков, министерств, подрядчиков);
- интероперабельность – совместимость с различными приложениями (ГИС, BIM, HDM-IV, Excel, QGIS);
- автоматическое обновление данных при поступлении новых диагностических результатов;
- безопасность и резервирование информации.

Такой подход позволяет обеспечить национальный масштаб управления активами, когда все регионы Таджикистана работают в едином цифровом контуре с актуальными данными и автоматическим обновлением показателей состояния [4].

Следовательно, совокупное применение технологий IoT, Big Data, AI/ML, Digital Twin и Cloud Platform формирует основу интеллектуальной модели СУДА нового поколения, обеспечивающей непрерывный цикл «Данные → Анализ → Решение → Обратная связь». Это позволяет перейти от разрозненного и реактивного управления к предиктивной модели, при которой решения принимаются на основе точных цифровых данных, прогнозов и экономической эффективности.

### ***Модель интеграции ИИ в процесс управления***

Интеграция ИИ в модель СУДА включает последовательные этапы, которые наглядно отражены в таблице 2.

Таблица 2 – Этапы интеграции ИИ в СУДА Республики Таджикистан

Этапы	Описание	Ожидаемый результат
1. Сбор данных	Диагностика IRI, PCI, FWD	База данных дефектов
2. Обработка данных	Очистка и стандартизация данных	Единый формат данных
3. Обучение моделей	Применение ML-алгоритмов	Модель прогноза износа
4. Прогнозирование	Расчёт остаточного ресурса покрытия	Приоритизация ремонтов
5. Внедрение	Встраивание ИИ-аналитики в СУДА	Автоматизированное принятие решений

## Практическая значимость и ожидаемые результаты

Применение цифровых технологий и ИИ в СУДА Таджикистана обеспечит [3, 7, 9]:

- повышение точности оценки состояния дорог на 40-50 %;
- снижение затрат на диагностику и планирование до 25 %;
- оптимизацию приоритетов ремонтов и распределения бюджета;
- повышение прозрачности и контроля реализации программ.

Цифровая СУДА с ИИ-поддержкой позволит перейти от реактивного к предиктивному управлению дорогами, что особенно важно при ограниченных ресурсах и сложных климатических условиях страны [8].

## Проблемы внедрения и пути их решения

Внедрение цифровых технологий и искусственного интеллекта в систему управления дорожными активами (СУДА) Республики Таджикистан сопровождается рядом организационных, технических, финансовых и нормативных проблем, характерных для развивающихся стран. Несмотря на наличие стратегического интереса к цифровизации транспортной отрасли, процесс её практической реализации требует комплексного подхода, включающего институциональные, кадровые и технологические меры [10].

Далее, более подробно рассмотрим 5 основных проблем внедрения цифровых технологий и искусственного интеллекта в СУДА и пути их решения.

### 1. Финансовые ограничения.

Одной из ключевых проблем остаётся недостаток стабильного финансирования на создание и сопровождение цифровых систем.

Разработка, лицензирование и обслуживание ГИС-платформ, диагностических комплексов и облачной инфраструктуры требуют значительных первоначальных вложений. Кроме того, текущие бюджеты дорожных организаций формируются преимущественно под физические ремонты, а не под инвестиции в цифровые решения.

Отсутствие механизма софинансирования с международными финансовыми институтами (ЕБРР, АБР, Всемирный банк) ограничивает возможность внедрения современных решений, хотя эти организации активно поддерживают цифровизацию дорожного сектора в странах Центральной Азии.

*Для решения этой проблемы необходимо:*

- предусмотреть отдельную бюджетную статью для цифровизации дорожного хозяйства;
- разработать государственную программу «Цифровая СУДА – 2030» с поэтапным финансированием;
- привлечь международные гранты и кредитные линии на внедрение ИИ и ГИС-технологий.

### 2. Кадровый дефицит.

В дорожных организациях республики наблюдается нехватка специалистов в области ГИС-технологий, программирования, анализа данных и искусственного интеллекта.

Большинство инженерно-технических работников имеют опыт эксплуатации и ремонта, но не владеют цифровыми инструментами сбора, анализа и визуализации данных. Это существенно снижает эффективность внедряемых систем.

*Для решения этой проблемы необходимо:*

- создать Центр подготовки и переподготовки кадров в области цифрового управления дорогами при Министерстве транспорта Таджикистана;
- ввести учебные модули по ГИС, BIM и ИИ в программы Таджикского технического университета;
- реализовать совместные стажировки с международными дорожными институтами (PIARC, TRL, KazdorNII, AASHTO).

### 3. Нормативно-правовая база.

На сегодняшний день отсутствует единая нормативная база для регулирования процессов цифровизации и обмена данными между организациями дорожной отрасли. Не определены стандарты форматов данных, структура цифровых паспортов дорог, правила интеграции с ГИС и облачными системами, а также порядок верификации данных, полученных с помощью сенсорных и ИИ-систем.

*Для решения этой проблемы необходимо:*

- разработать национальный стандарт «СУДА-ТJ», регламентирующий сбор, хранение и обмен цифровыми данными о дорогах;
- включить в действующие СНиП и ГОСТы разделы, посвящённые цифровой диагностике, цифровым двойникам и интеграции ИИ;
- принять Постановление Правительства Республики Таджикистан о внедрении цифровых технологий в дорожной отрасли, аналогично инициативам Казахстана и Узбекистана.

#### **4. Технологическая несовместимость и фрагментарность данных.**

Различные организации (проектные, дорожно-строительные, дорожно-эксплуатационные, подрядчики, лаборатории) используют разнородное программное обеспечение и несогласованные форматы данных.

В результате невозможно объединить эти данные в единую базу или выполнять автоматический анализ, что препятствует созданию сквозной цифровой СУДА.

Для решения этой проблемы необходимо:

- внедрить открытые программные решения и платформы с поддержкой форматов GeoJSON, IFC, CSV и API-интерфейсов (например, *GeoServer*, *ArcGIS Online*, *QGIS*, *HDM-IV*, *TensorFlow*). Расшифровка форматов и интерфейсов приведена в таблице 3;
- создать национальную интеграционную базу данных, обеспечивающую обмен информацией между министерствами и подрядными организациями;
- разработать унифицированные классификаторы активов и дефектов, чтобы исключить дублирование и несогласованность.

Таблица 3 - Основные форматы и интерфейсы цифровой платформы управления дорожными данными

Формат / Интерфейс	Расшифровка	Назначение	Область применения
GeoJSON	<i>Geographic JavaScript Object Notation</i> – Географический формат JSON	Хранение и обмен пространственными данными (точки, линии, полигоны)	Веб-карты, ГИС (QGIS, ArcGIS, GeoServer), системы мониторинга состояния дорог
IFC	<i>Industry Foundation Classes</i> – Индустриальные базовые классы	Универсальный BIM-формат для обмена 3D-моделями объектов инфраструктуры	BIM-платформы (Revit, Tekla), цифровые двойники мостов и дорог
CSV	<i>Comma-Separated Values</i> – значения, разделённые запятыми	Хранение табличных данных в текстовом виде, удобное для анализа и обмена	Импорт/экспорт данных в Excel, HDM-IV, QGIS, TensorFlow
API	<i>Application Programming Interface</i> – программный интерфейс приложения	Связь и обмен данными между программами и веб-сервисами	Интеграция систем (GeoServer, ArcGIS Online, QGIS, HDM-IV, TensorFlow)
GeoServer	Веб-платформа для публикации пространственных данных (WMS, WFS)	Централизованное хранение и доступ к картографическим слоям	Национальные геопорталы, цифровые карты дорог
ArcGIS Online	Облачный сервис от Esri для анализа и обмена ГИС-данными	Визуализация и совместное использование пространственных данных	Геопорталы, управление дорожными активами
QGIS	<i>Quantum GIS</i> – свободная настольная ГИС-платформа	Анализ и обработка пространственных данных, интеграция с GeoServer и HDM-IV	Планирование ремонтов, анализ дорожных условий
HDM-IV	<i>Highway Development and Management Model</i> – модель управления развитием дорог	Экономико-инженерная модель для анализа жизненного цикла и выбора стратегий ремонта	Оценка стоимости, NPV/PI-анализ, планирование ремонтов
TensorFlow	Платформа машинного обучения от Google	Построение и обучение нейронных сетей для прогнозирования и классификации	Анализ больших данных, прогноз износа дорожных покрытий

#### **5. Ограниченная институциональная поддержка.**

Внедрение цифровых решений требует координации действий между различными ведомствами - Министерством транспорта, дорожными управлениями, органами надзора и проектными институтами.

На практике отсутствует единый оператор, ответственный за реализацию цифровой трансформации отрасли.

Для решения этой проблемы необходимо:

- создать Центр искусственного интеллекта и цифровых технологий дорожной отрасли при Министерстве транспорта РТ, который возьмёт на себя функции:
  - администрирования и развития СУДА;
  - координации pilotных проектов;
  - сопровождения цифровых стандартов и технических регламентов.
- наделить Центр правом утверждения форматов данных и доступа к цифровой инфраструктуре.

Для успешной реализации цифровой СУДА рекомендуется применять поэтапный подход, включающий внедрение试点ных проектов в отдельных регионах, их тестирование, адаптацию и последующее масштабирование.

#### 1. Пилотные регионы:

- Согдийская область - из-за высокой интенсивности движения и наличия стратегических трасс (Душанбе-Худжанд).
- Хатлонская область - для испытания технологий на дорогах с различными климатическими условиями.

#### 2. Этапы пилотирования:

- создание цифровой карты дорог и инвентаризация активов;
- сбор данных с использованием RTRRMS и IoT-сенсоров;
- разработка аналитического модуля на основе AI/ML;
- интеграция с ГИС и облачной платформой.

#### 3. Этап масштабирования:

После оценки результатов试点ных проектов - распространение системы на остальные регионы республики и формирование национального банка данных по состоянию дорожной сети.

Для ускорения цифровой трансформации дорожного сектора Таджикистану целесообразно развивать партнёрские программы с ведущими международными организациями и исследовательскими центрами, такими как PIARC, ADB, EBRD, World Bank, TRL.

Такое сотрудничество с международными партнёрами позволит:

- адаптировать лучшие международные практики (HDM-IV, RAMS, BIM/GIS-интеграцию);
- получить доступ к обучающим программам и технической экспертизе;
- привлечь инвестиции и гранты на внедрение цифровых технологий.

## Заключение

Таким образом, ключевые направления преодоления возникающих проблем внедрения цифровой модели СУДА в Таджикистане включают:

- формирование нормативно-правовой базы цифрового управления дорогами;
- развитие кадрового потенциала и технической компетенции специалистов;
- создание Центра компетенций по ИИ и цифровым технологиям;
- внедрение открытых технологических решений и единого формата данных;
- развитие международного партнёрства и поэтапное масштабирование цифровых систем.

Реализация этих мер позволит обеспечить устойчивое функционирование СУДА и перейти от локальных инициатив к полноценной национальной системе интеллектуального управления дорожными активами.

Следует отметить, что Правительство Республики Таджикистан в настоящее время оказывает активное содействие внедрению искусственного интеллекта во все сферы деятельности страны, разработана и утверждена «Стратегия развития искусственного интеллекта до 2040 года». В рамках реализации данной стратегии в Таджикистане в образовательные программы 10 университетов страны уже включена новая специальность - «Искусственный интеллект». Кроме того, уже подготовлено более 750 молодых специалистов, а внедрение стратегии началось в 100 учебных заведениях страны. Об этом сообщил Первый заместитель Премьер-министра Таджикистана 25 октября 2025 года на Международной конференции «AI Conf 2025» в Душанбе. Он отметил, что внедрение ИИ в систему образования - это не просто инновация, а важный шаг к развитию интеллектуального потенциала молодёжи и адаптации обучения к современным требованиям.

*Рецензент: Сайрахмонов Р.Х. - к.т.н., доцент, заведующий кафедрой "Строительство дорог, сооружений и транспортных коммуникаций" ТГПУ им. акад. М.С. Осими.*

## Литература

1. Massoumi R. Digitization – key to sustainable asset management. *Arcadis Insights*, 2024.
2. Attencia G., Mattos C. Adoption of digital technologies for asset management in construction projects. *ITcon*, Vol. 27 (2022), pp. 619–629. DOI: 10.36680/j.itcon.2022.030.

3. Yan Y. et al. Digital Twin Enabling Technologies for Advancing Road Asset Management. *Transportation Infrastructure Research*, 2024.
4. AASHTO. Transportation Asset Management Guide. 2nd Edition. Washington D.C., 2020.
5. WSP. Artificial Intelligence in Infrastructure Asset Management. London, 2023.
6. ESRI Inc. GeoAI and Spatial Analytics for Transportation Asset Management. Redlands, 2024.
7. Zhang P., Li Q. AI-based Prediction Models for Pavement Condition Assessment. *Automation in Construction*, 2024.
8. Министерство транспорта РТ. Годовой отчёт о состоянии дорожной сети. Душанбе, 2024.
9. Мирзозода С.Б. Система управления дорожными активами (СУДА): монография / С.Б. Мирзозода, О.А. Красиков, Б.Б. Каримов. - Душанбе: Ирфон, 2023. - 264 с.
10. Intellias. AI and Big Data in Smart Road Asset Management. *Whitepaper*, 2024.

#### **МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН - СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ -INFORMATION ABOUT AUTHORS**

TJ	RU	EN
Мирзозода Сухроб Бегмат номзади илмҳои техникий, дотсент	Мирзозода Сухроб Бегмат кандидат технических наук, доцент	Mirzozoda Sukhrob Begmat candidate of technical sciences, associate professor
Донишгоҳи Техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осими.	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi.
E-mail: <a href="mailto:sukhrob63@mail.ru">sukhrob63@mail.ru</a>		
TJ	RU	EN
Мирзоев Фаридун Сухробович муҳандис-тарҳрезӣ Шӯбайи техникий	Мирзоев Фаридун Сухробович инженер-проектировщик Технического департамента	Mirzoev Faridun Suhrobovich engineer - designer of the Technical department
ЧСК «Таджикгидроэлектромонтаж»	ОАО «Таджикгидроэлектромонтаж»	JSC «Tajikhydroelectromontazh»
E-mail: <a href="mailto:farid.mirzaev.96@bk.ru">farid.mirzaev.96@bk.ru</a>		