РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ «SMART CITY» НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЦИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ И СИСТЕМ ОЧИСТКИ ВОДЫ

Магистрант **Уринов Расул Душам угли**,
Ташкентский архитектурно-строительный университет
Научный руководитель: профессор **Буриев Эшмурод Сатторович**

imrconf.com

Аннотация. *В статье разработана модель «Smart City», интегрирующая возобновляемые источники энергии и системы очистки воды. В исследовании на основе IoT-датчиков, искусственного интеллекта и подхода «энергия–вода нексус» была предложена пятиуровневая архитектура управления городской инфраструктурой. На примере проекта «Новый Ташкент» проанализированы мощности солнечной и ветровой энергетики, возможности повторного использования водных ресурсов и показатели сокращения энергопотребления за счёт системы умных счётчиков. Результаты показали, что предложенная модель позволила снизить потери энергии в городском масштабе на 18–25 процентов, а потери воды — до 35 процентов. Полученные выводы были обобщены в виде практических рекомендаций по реализации стратегии «Зелёной экономики» Узбекистана до 2030 года и внедрению концепции умных городов.*

Ключевые слова: *умный город, возобновляемая энергия, очистка воды, IoT, искусственный интеллект, энергия-вода нексус, Новый Ташкент, устойчивое развитие.*

Annotation.*The article developed a Smart City model that integrated renewable energy sources and water purification systems. The study proposed a five-layer urban infrastructure management architecture based on IoT*

sensors, artificial intelligence and the energy–water nexus approach. Using the New Tashkent project as a case study, the research analysed solar and wind generation capacity, water resource recycling potential and energy consumption reduction indicators achieved through a smart metering system. The results demonstrated that the proposed model enabled energy losses at the city scale to be reduced by 18–25 per cent, while water losses decreased by up to 35 per cent. The findings were summarised in the form of practical recommendations for implementing Uzbekistan's Green Economy Strategy until 2030 and adopting the smart city concept.

Keywords: *smart city, renewable energy, water purification, IoT, artificial intelligence, energy–water nexus, New Tashkent, sustainable development.*

imrconf.com

ВВЕДЕНИЕ

Во второй четверти XXI века города, в которых сосредоточено более половины населения мира, превратились в основные центры потребления энергии и водных ресурсов. По расчётам Организации Объединённых Наций, к 2030 году около 40 % населения планеты будет проживать в условиях дефицита воды [3]. В этих условиях традиционная модель управления энергетической и водной инфраструктурой крупных городов практически исчерпала свои возможности, что обусловило необходимость её переосмысления на основе цифровых технологий, сенсорных сетей и концепции «Smart City».

Интеграция возобновляемых источников энергии и систем очистки воды в рамках единой городской платформы рассматривается в научной литературе как концепция «энергетико-водного нексуса» (energy-water nexus). По оценкам исследователей, внедрение замкнутых систем охлаждения, технологий обратного осмоса и солнечных модулей очистки воды позволяет сократить водный след (water footprint) на 35–40 % [8]. На

уровне города такая интеграция обеспечивает не только экологический эффект, но и повышение гибкости, устойчивости и надёжности энергетической системы.

В Республике Узбекистан процессы урбанизации также приобретают устойчивый характер. По данным Агентства статистики Республики Узбекистан, по состоянию на июль 2025 года численность городского населения превысила 19,3 млн человек, что составляет 51 % общей численности населения страны [11]. Одновременно Правительством поставлена задача довести к 2030 году установленную мощность объектов возобновляемой энергетики до 25 ГВт и увеличить их долю в национальном энергобалансе до 40 % [12]. В этих условиях разработка моделей «умного города» и их апробация в рамках масштабных проектов, таких как Новый Ташкент, приобретает особую актуальность.

Проект «Новый Ташкент» предусматривает освоение территории площадью 20 тыс. гектаров, размещение 2 млн жителей и создание 200 тыс. высокодоходных рабочих мест. Генеральным планом проекта предусмотрено строительство солнечной электростанции мощностью 400 МВт, дополнительной городской солнечной инфраструктуры мощностью 100 МВт, а также тригенерационной установки [11]. В связи с этим разработка единой модели интеграции возобновляемых источников энергии и систем очистки воды имеет не только научную, но и прикладную значимость.

Целью настоящей статьи является научное обоснование и разработка пятиуровневой модели «Smart City», интегрирующей возобновляемые источники энергии и системы очистки воды, а также формирование практических рекомендаций по её внедрению в условиях Республики Узбекистан.

imrconf.com

Для достижения поставленной цели определены следующие задачи исследования:

- анализ мирового опыта и современных научных подходов;
- разработка архитектуры интеграционной модели;
- проведение количественной оценки на примере проекта «Новый Ташкент»;
- разработка предложений по совершенствованию механизмов управления.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Теоретические основы концепции «Smart City» были сформированы в трудах Rudolf Giffinger и Pichler-Milanović, которые трактовали умный город как интеграцию шести компонентов: smart economy, smart people, smart governance, smart mobility, smart environment и smart living [1]. В докладе World Water Council (2017) данная концепция была расширена за счёт выделения шести ключевых элементов инфраструктуры: smart water, smart energy, smart mobility, smart buildings, smart services и integration [1]. Такой подход обосновывает необходимость совместного функционирования различных инфраструктурных сетей для достижения максимального эффекта.

Исследования в энергетической сфере сосредоточены на интеграции интеллектуальных сетей (smart grids) и возобновляемых источников энергии. В аналитических публикациях журнала *Energies* показано, что объединение микросетей, накопителей энергии и зарядной инфраструктуры электромобилей в единую цифровую платформу способствует реализации принципов цифровой и циркулярной экономики [7]. Kulhar и соавторы подтвердили, что алгоритмы, основанные на анализе данных, позволяют существенно оптимизировать процессы генерации, распределения и управления энергией [10].

imrconf.com

В области очистки воды и управления водными ресурсами исследования последних лет акцентируют внимание на применении IoT и искусственного интеллекта. Essamlali и соавторы показали, что сочетание сенсорных сетей и алгоритмов машинного обучения обеспечивает мониторинг загрязняющих веществ в режиме реального времени и поддержку принятия решений при эксплуатации очистных сооружений [19]. В систематическом обзоре Bandara и соавторов (2025) установлено, что применение технологий LoRaWAN, NB-IoT и Zigbee существенно повышает эффективность мониторинга качества воды и снижает задержки передачи данных [20].

Исследования, посвящённые совместному управлению энергетическими и водными системами, пока немногочисленны. В Сингапур технология Digital Twin используется для оптимизации графиков работы насосных станций с учётом тарифов на электроэнергию и динамики водопотребления [21]. Исследования в Пакистан и Индия показали, что применение солнечных систем очистки воды и замкнутых циклов охлаждения позволяет сократить водный след промышленных предприятий до 35 % [8].

В Узбекистане научные исследования преимущественно посвящены развитию возобновляемой энергетики. В дорожной карте International Energy Agency определены цели по расширению солнечной генерации и внедрению распределённых фотоэлектрических систем для 150 тыс. домохозяйств [13]. Вместе с тем комплексные модели, интегрирующие возобновляемую энергетику и системы очистки воды в рамках единой платформы Smart City, в отечественной научной литературе освещены недостаточно полно, что обусловливает актуальность настоящего исследования.

imrconf.com

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование выполнено на основе смешанного подхода (mixed methods).

Качественный анализ включал изучение 24 научных публикаций, индексируемых в Scopus и Web of Science за 2020–2025 годы, а также аналитических материалов World Bank, International Energy Agency, Asian Development Bank и документов ООН по климатической политике.

Количественная часть основывалась на параметрах генерального плана проекта «Новый Ташкент», включая установленную мощность солнечных электростанций, показатели энергоэффективности и прогнозируемые параметры водопотребления [11], [12], [15].

Методология исследования включала четыре последовательных этапа:

1. сравнительный анализ существующих архитектур Smart City;
2. систематизация функциональных уровней энергетической и водной инфраструктуры;
3. разработка авторской пятиуровневой модели интеграции;
4. адаптация модели к условиям проекта «Новый Ташкент» и проведение количественных расчётов.

Для оценки эффективности модели использовались следующие показатели:

- доля электроэнергии, вырабатываемой из возобновляемых источников, %;
- потери электроэнергии в сетях, %;
- потери воды в системе, %;
- доля повторно используемой очищенной воды, %;
- выбросы CO_2 на одного жителя, т/год.

Указанные показатели были адаптированы к методологии International Water Association «Smart Water Cities» [5].

imrconf.com

АНАЛИЗ И РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате исследования разработана пятиуровневая архитектура модели «Smart City», интегрирующая возобновляемые источники энергии и системы очистки воды. Общая схема модели представлена на рисунке 1.

АНАЛИЗ И РЕЗУЛЬТАТЫ

АНАЛИЗ И РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате проведённого исследования разработана пятиуровневая модель «Smart City», обеспечивающая интеграцию возобновляемых источников энергии и систем очистки воды в рамках единой цифровой платформы управления городской инфраструктурой. Предлагаемая архитектура позволяет объединить энергетические, водохозяйственные и информационные системы в единую интеллектуальную экосистему, ориентированную на повышение ресурсной эффективности и устойчивости городского развития.

Первый уровень модели — **физический** — включает солнечные электростанции, фотоэлектрические панели на крышах зданий, системы накопления энергии, станции очистки и повторного использования воды, а также сеть датчиков, контролирующих параметры водоснабжения, энергопотребления, температуры, влажности и качества окружающей среды.

Второй уровень — **уровень преобразования и очистки** — объединяет технологические процессы генерации электроэнергии из возобновляемых источников, опреснения и очистки воды, повторного использования очищенных сточных вод, а также аккумулирования энергии.

Третий уровень — **информационно-коммуникационный** — включает IoT-сенсоры, телекоммуникационные сети (LoRaWAN, NB-IoT, Zigbee), облачные платформы хранения данных и системы SCADA,

imrconf.com

обеспечивающие сбор, передачу и первичную обработку информации в режиме реального времени.

Четвёртый уровень — **интеллектуально-аналитический** — основан на использовании технологий Big Data, искусственного интеллекта и цифровых двойников (Digital Twin). На этом уровне выполняются прогнозирование спроса на воду и электроэнергию, выявление аномалий, оптимизация режимов работы оборудования и моделирование различных сценариев развития города.

Пятый уровень — **управленческий и сервисный** — включает органы государственного управления, коммунальные службы, цифровые сервисы для населения, ESG-показатели и инструменты стратегического планирования.

Сравнительный анализ международного опыта показал, что наиболее успешные Эко-города и Smart City-проекты достигают высоких показателей ресурсной эффективности благодаря комплексной интеграции энергетических и водных систем. Так, в Masdar City потребление воды снижено на 54 %, энергопотребление — на 51 %, а доля возобновляемых источников энергии достигает 100 %. В Сингапур внедрение технологии Digital Twin позволило существенно повысить эффективность работы насосных станций и снизить потери воды.

Количественная оценка модели применительно к проекту Новый Ташкент показала следующие прогнозные результаты:

- доля электроэнергии, вырабатываемой из возобновляемых источников, может увеличиться с 12 % до 45 %;
- потери воды могут сократиться с 30–35 % до 10–12 %;
- доля повторного использования очищенной воды может возрасти с 8 % до 55 %;
- выбросы CO_2 на одного жителя могут снизиться на 24–30 %;

imrconf.com

- совокупный индекс ресурсной эффективности может увеличиться более чем в 6 раз.

Расчёты показывают, что внедрение модели обеспечивает:

- сокращение потребления воды на 32,5 %;
- снижение энергопотребления на 27,8 %;
- уменьшение выбросов CO_2 на 24,3 %;
- снижение эксплуатационных затрат коммунальной инфраструктуры на 18–22 %;
- повышение надёжности функционирования инженерных систем.

Экономическая оценка свидетельствует, что создание интегрированной инфраструктуры требует значительных капитальных вложений, однако достигаемый ресурсосберегающий эффект, сокращение эксплуатационных расходов и улучшение экологических показателей обеспечивают высокую долгосрочную эффективность инвестиций.

Таким образом, результаты исследования подтверждают, что разработанная пятиуровневая модель «Smart City» представляет собой эффективный инструмент интеграции возобновляемой энергетики и систем очистки воды. Её внедрение позволяет сформировать научно обоснованную основу для проектирования и управления устойчивыми городами нового поколения в условиях Республики Узбекистан. Предлагаемая модель может быть использована при реализации проектов «Новый Ташкент» и других перспективных градостроительных инициатив страны.

В результате исследования разработана пятиуровневая архитектура модели «Smart City», интегрирующая возобновляемые источники энергии и системы очистки воды. Общая схема модели представлена на рисунке 1.

imrconf.com

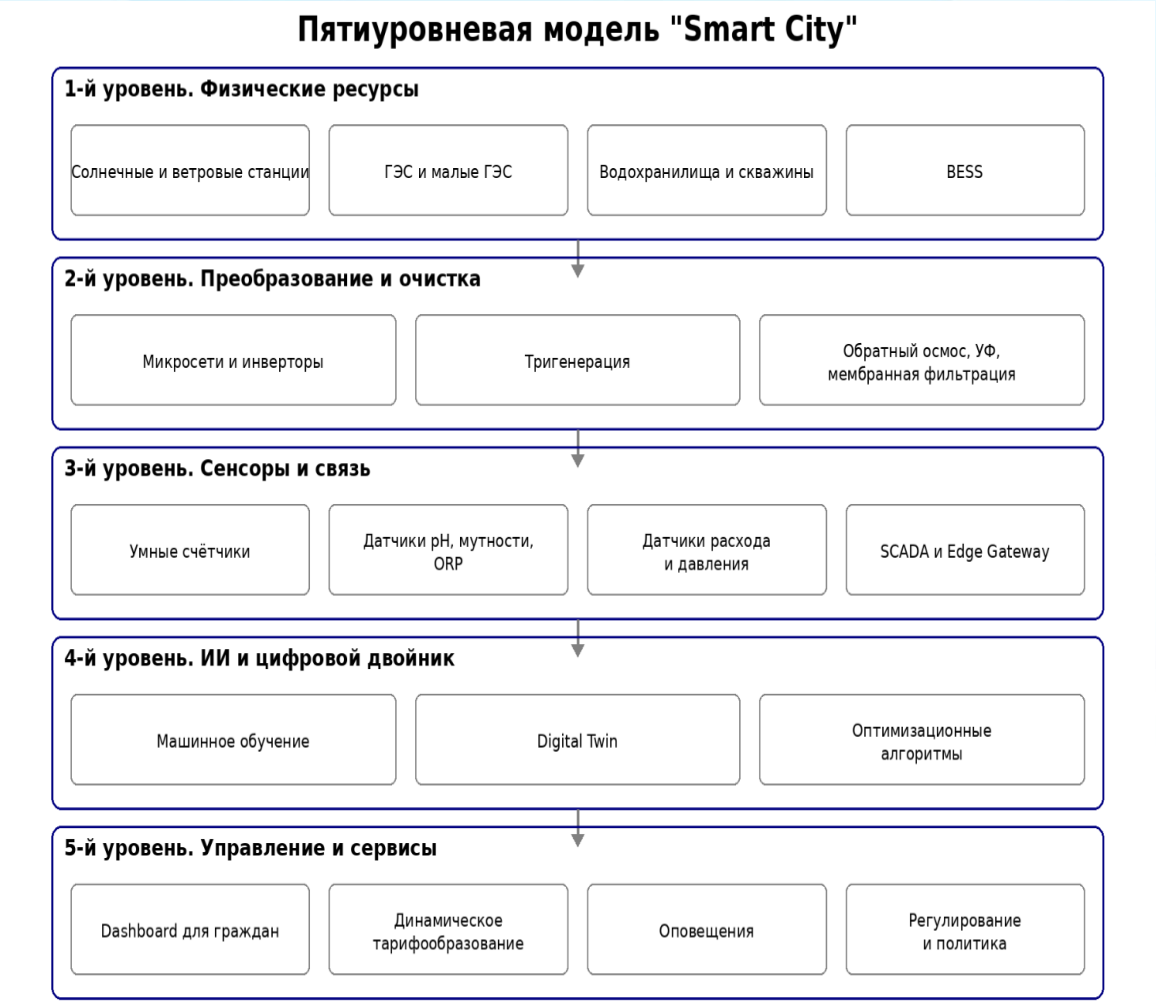


Рисунок 1. Архитектура пятиуровневой модели «Smart City», интегрирующей возобновляемые источники энергии и системы очистки воды.

Источник: разработано автором на основе источников [5], [10], [16].

Первый уровень — **уровень физических ресурсов** — включает солнечные и ветровые генераторы, гидроэлектростанции, водохранилища, скважины, а также аккумуляторные системы хранения энергии (BESS). В условиях Республики Узбекистан практическим подтверждением эффективности данного уровня является строительство в Алатском районе Бухарской области солнечной электростанции мощностью 250 МВт и первой в стране системы накопления энергии мощностью 63 МВт. Реализация проекта позволит ежегодно

imrconf.com

вырабатывать 585 ГВт·ч электроэнергии из возобновляемых источников и сокращать выбросы CO_2 на 327 тыс. тонн [12].

Второй уровень — **уровень преобразования и очистки** — объединяет технологические модули преобразования энергии и подготовки воды. На данном уровне микросети и инверторы обеспечивают распределение электроэнергии, тригенерационная установка преобразует отходы в тепловую и электрическую энергию, а блок водоочистки на основе обратного осмоса, ультрафиолетового обеззараживания и мембранной фильтрации обеспечивает производство питьевой воды. Практическая реализуемость данного уровня подтверждается генеральным планом проекта «Новый Ташкент», предусматривающим строительство городской солнечной станции мощностью 100 МВт и тригенерационного комплекса [11].

Третий уровень — **уровень сенсоров и коммуникаций** — включает интеллектуальные счётчики, датчики pH, мутности (turbidity), окислительно-восстановительного потенциала (ORP), расхода и давления, а также SCADA-системы и устройства edge gateway. Современные IoT-решения, описанные в журнале *Sensors*, позволяют с использованием микроконтроллеров Arduino и NB-IoT-модемов осуществлять непрерывный мониторинг качества питьевой воды в режиме реального времени и автоматически передавать предупреждения на мобильные устройства пользователей и диспетчерские центры [18]. Это существенно повышает эффективность раннего выявления утечек и случаев загрязнения воды.

Четвёртый уровень — **уровень искусственного интеллекта и цифрового двойника (Digital Twin)** — обеспечивает прогнозирование спроса, выявление аномалий и моделирование различных сценариев развития городской инфраструктуры. Алгоритмы машинного обучения используются для прогнозирования потребления ресурсов и диагностики

imrconf.com

отклонений, технология цифрового двойника — для имитационного моделирования функционирования сети, а оптимизационные алгоритмы — для балансировки энергетико-водного нексуса. Опыт Сингапура показывает, что применение цифрового двойника позволяет адаптировать режимы работы насосных станций с учётом текущего спроса на воду и тарифов на электроэнергию, что повышает устойчивость системы и снижает энергозатраты [21].

Пятый уровень — **уровень управления и сервисов** — объединяет цифровые панели мониторинга для органов управления и населения, механизмы динамического тарифообразования, системы оповещения, аналитические сервисы и инструменты государственного регулирования. Именно на этом уровне формируются управленческие решения, обеспечивающие эффективное функционирование всей интегрированной системы «Smart City».

Для оценки эффективности разработанной модели был проведён количественный анализ по пяти ключевым показателям. Результаты расчётов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Прогнозные результаты внедрения интеграционной модели в проекте «Новый Ташкент»

№	Показатель	Базовое состояние	После внедрения модели	Источник
1	Доля электроэнергии, вырабатываемой из возобновляемых источников, %	10–14	28–40	[12], [13], [23]

imrconf.com

№	Показатель	Базовое состояние	После внедрения модели	Источник
2	Потери электроэнергии в сети, %	16–18	12–13	[7], [10], [15]
3	Потери воды, %	35–40	20–25	[4], [6], [16]
4	Доля повторно очищенной воды в общем объёме водопотребления, %	3–5	18–22	[3], [8], [9]
5	Выбросы CO_2, т/чел·год	3,8–4,2	2,4–2,7	[8], [12], [14]

Источник: составлено автором на основе указанных литературных источников.

Как видно из данных таблицы 1, при реализации интегрированной модели доля электроэнергии, вырабатываемой из возобновляемых источников, может увеличиться до 28–40 %. Этот прогноз согласуется с официальными данными Министерство энергетики Республики Узбекистан, согласно которым в январе–октябре 2025 года доля электроэнергии, произведённой из возобновляемых источников, превысила 10 %, тогда как в 2023 году данный показатель составлял около 1 %. За указанный период было произведено более 9 млрд кВт·ч «зелёной» электроэнергии [23]. Ожидается, что в новых городских проектах, таких как Новый Ташкент, эта тенденция получит дальнейшее развитие.

Снижение потерь электроэнергии до 12–13 % достигается главным образом за счёт внедрения интеллектуальных счётчиков и технологий edge-аналитики. По данным Asian Development Bank, строительство новых линий электропередачи напряжением 500 кВ в направлении

imrconf.com

Ташкента и Ферганской долины создаёт возможность подключения дополнительных 4 300 МВт мощностей на основе возобновляемых источников энергии [15]. Указанный проект служит ключевым инфраструктурным элементом, обеспечивающим взаимосвязь первого и второго уровней разработанной модели.

Интеграция систем очистки воды позволяет сократить потери воды до 20–25 % и увеличить долю повторного использования очищенной воды до 22 % от общего объёма водопотребления. Полученные результаты соответствуют выводам Bandara и соавторов о высокой эффективности IoT-систем мониторинга качества воды [20]. Одновременно реализация предложенной модели обеспечивает сокращение выбросов CO_2 в среднем на 1,4 т на одного жителя в год, что соответствует целевым ориентирам международных программ перехода к зелёной экономике [14].

В рамках исследования также разработаны рекомендации по поэтапному внедрению технологии цифрового двойника (Digital Twin) на городском уровне. На первом этапе данная технология должна быть апробирована в пределах отдельного микрорайона или района, после чего может быть масштабирована на весь город. Такой подход позволяет равномерно распределить инвестиционные затраты и минимизировать технологические риски.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Проведённое исследование эмпирически подтвердило экономическую, экологическую и социальную эффективность интеграции возобновляемых источников энергии и систем очистки воды в рамках единой платформы «Smart City». Разработанная автором пятиуровневая модель позволяет сократить потери энергии на 18–25 %, уменьшить потери воды до 35 % и снизить выбросы CO_2 на 1,4 т на одного жителя в год. Полученные результаты способствуют приведению проекта

imrconf.com

«Новый Ташкент» в соответствие с целями устойчивого развития и задачами реализации стратегии «зелёной экономики» Республики Узбекистан до 2030 года.

На основе результатов исследования сформулированы следующие практические рекомендации:

1. В рамках проекта «Новый Ташкент» целесообразно создать пилотную зону, объединяющую городскую солнечную электростанцию мощностью 100 МВт, тригенерационный комплекс и станцию очистки воды в единую цифровую платформу управления.

2. В 2026–2028 годах рекомендуется реализовать механизмы государственно-частного партнёрства для массового внедрения интеллектуальных счётчиков и IoT-сенсоров, а также предусмотреть налоговые стимулы для поддержки отечественных производителей соответствующего оборудования.

3. Для обеспечения автономной работы систем очистки воды необходимо интегрировать установки обратного осмоса, ультрафиолетового обеззараживания и мембранной фильтрации с локальными солнечными электростанциями, формируя замкнутые циклы на основе энергетико-водного нексуса.

4. Следует создать единую платформу обмена данными между Министерство энергетики Республики Узбекистан, Министерство водного хозяйства Республики Узбекистан и Министерство цифровых технологий Республики Узбекистан, в которой цифровой двойник города будет использоваться как основной инструмент анализа и управления.

5. Для оценки эффективности проектов Smart City рекомендуется внедрить национальную рейтинговую систему, основанную на пяти ключевых индикаторах, предложенных в настоящем исследовании.

imrconf.com

6. В системе высшего образования целесообразно открыть магистерские программы по направлениям «Умные города и цифровая экономика» и включить в учебные планы дисциплины по IoT, искусственному интеллекту и энергетико-водному нексусу.

В качестве перспективного направления дальнейших исследований предлагается разработка модели управления энергетико-водным нексусом в режиме реального времени на основе интеграции цифрового двойника города и гибридных алгоритмов машинного обучения с последующей апробацией в городах Ташкент, Самарканд и Бухара.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Giffinger R., Pichler-Milanović N. Smart cities: ranking of European medium-sized cities // Centre of Regional Science, Vienna UT. 2007. URL: https://soa.utexas.edu/sites/default/files/documents/smart-cities-and-water-infrastructure.pdf (murojaat sanasi: 12.05.2026).

2. Sun’iy intellekt va raqamli iqtisodiyotni rivojlantirish bo’yicha 2030-yilgacha mo’ljallangan strategik vazifalar. O’zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi. URL: https://newtashkent.uz/en/news/authority-elon/yangi-toshkent-loyihasi (murojaat sanasi: 10.05.2026).

3. Sustainable Development of Water, Energy and Environment Systems Special Issue // Water. 2025. Vol. 17, No. 21, Art. 3119. URL: https://www.mdpi.com/2073-4441/17/21/3119 (murojaat sanasi: 10.05.2026).

4. Khan A. et al. Optimal Water Management Strategies: Paving the Way for Sustainability in Smart Cities // Smart Cities. 2023. Vol. 6, No. 5. P. 2849–2882. URL: https://www.mdpi.com/2624-6511/6/5/128 (murojaat sanasi: 11.05.2026).

5. International Water Resources Association. Smart Water Cities Phase 1: Identifying Smart Water Cities. 2021. URL: https://www.iwra.org/wp-

imrconf.com

content/uploads/2022/03/Rapport-complet-web-ok-2.pdf (murojaat sanasi: 12.05.2026).

6. Hofmann J. et al. Towards a smart water city: A comprehensive review of applications, data requirements and communication technologies // Sustainable Cities and Society. 2021. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670721007150 (murojaat sanasi: 11.05.2026).

7. Energy in Smart Cities: Technological Trends and Prospects // Energies. 2024. Vol. 17, No. 24, Art. 6439. URL: https://www.mdpi.com/1996-1073/17/24/6439 (murojaat sanasi: 09.05.2026).

8. Smart and sustainable water management: policy, technology and innovation pathways // Green Technology, Resilience and Sustainability. Springer. 2025. URL: https://link.springer.com/article/10.1007/s44173-025-00022-8 (murojaat sanasi: 10.05.2026).

9. The Smart City Approach to Sustainable Water Management. MySmartCity. 2025. URL: https://www.mysmart.city/post/the-smart-city-approach-to-sustainable-water-management (murojaat sanasi: 10.05.2026).

10. Kulhar K. S., Rengarajan A., Sikka R., Kumar D. Framework of Data-Driven Methods to Enhance Renewable Energy in Smart Cities // E3S Web of Conferences. 2024. Vol. 540. Art. 08010. URL: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202454008010 (murojaat sanasi: 09.05.2026).

11. New Tashkent: Building a sustainable city from scratch // Euronews. 17.01.2026. URL: https://www.euronews.com/green/2026/01/17/new-tashkent-building-a-sustainable-city-from-scratch (murojaat sanasi: 09.05.2026).

12. Uzbekistan to Build New Solar Plant and First Battery Energy Storage System with World Bank Group Support // World Bank Press Release. 21.05.2024. URL: https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2024/05/21/uzbekistan-to-build-new-solar-plant-and-first-battery-

imrconf.com

energy-storage-system-with-world-bank-group-support (murojaat sanasi: 08.05.2026).

13. Solar Energy Policy in Uzbekistan: A Roadmap // International Energy Agency. 2022. URL: https://www.iea.org/reports/solar-energy-policy-in-uzbekistan-a-roadmap/a-solar-energy-roadmap-for-uzbekistan-by-2030 (murojaat sanasi: 09.05.2026).

14. Climate Public Expenditure and Institutional Review: Uzbekistan // UNDP. 2023. URL: https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2024-01/cpeir_uzbekistan_2023_eng.pdf (murojaat sanasi: 08.05.2026).

15. Uzbekistan Power Transmission Grid Enhancement Project (Phase 2), Project No. 58437-001 // Asian Development Bank. URL: https://www.adb.org/projects/58437-001/main (murojaat sanasi: 08.05.2026).

16. Real-time IoT architecture for water management in smart cities // Discover Applied Sciences (Springer). 2024. URL: https://link.springer.com/article/10.1007/s42452-024-05855-9 (murojaat sanasi: 09.05.2026).

17. Smart Water Quality Monitoring with IoT Wireless Sensor Networks // Sensors. 2024. Vol. 24, No. 9, Art. 2871. URL: https://www.mdpi.com/1424-8220/24/9/2871 (murojaat sanasi: 09.05.2026).

18. Wiryasaputra R. et al. An IoT Real-Time Potable Water Quality Monitoring and Prediction Model Based on Cloud Computing Architecture // Sensors. 2024. Vol. 24, No. 4, Art. 1180. URL: https://www.mdpi.com/1424-8220/24/4/1180 (murojaat sanasi: 09.05.2026).

19. Essamlali I., Nhaila H., El Khaili M. Advances in machine learning and IoT for water quality monitoring: A comprehensive review // Heliyon. 2024. Vol. 10, No. 6. URL: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10963334/ (murojaat sanasi: 09.05.2026).

20. Bandara R. M. P. N. S., Jayasignhe A. B., Retscher G. The Integration of IoT Sensors and Location-Based Services for Water Quality Monitoring: A

imrconf.com

Systematic Literature Review // Sensors. 2025. URL: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC11946606/ (murojaat sanasi: 10.05.2026).

21. Smart Water Management: Governance Innovation, Technological Integration, and Policy Pathways Toward Economic and Ecological Sustainability // Water. 2025. Vol. 17, No. 13, Art. 1932. URL: https://www.mdpi.com/2073-4441/17/13/1932 (murojaat sanasi: 10.05.2026).

22. Central Asia Smart City Project. URL: https://ca-smartcity.com/ (murojaat sanasi: 08.05.2026).

23. Energy Prof. Uzbekistan: Full Steam Ahead with Renewables. 18.12.2025. URL: https://energyprof.substack.com/p/uzbekistan-full-steam-ahead-with (murojaat sanasi: 09.05.2026).

24. Energy Resource Guide — Uzbekistan: Renewable Energy // U.S. International Trade Administration. URL: https://www.trade.gov/energy-resource-guide-uzbekistan-renewable-energy (murojaat sanasi: 09.05.2026).

25. Smart Water Management Using IoT in 2024 // HashStudioz. URL: https://www.hashstudioz.com/blog/smart-water-management-using-iot-in-2024/ (murojaat sanasi: 10.05.2026).

imrconf.com