

УДК 69.059.35

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОНИТОРИНГА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Гулякин Д.В.

*доктор педагогических наук, профессор,
Кубанский государственный технологический университет,
Краснодар, Россия*

Минаков В.Л.

*студент,
Кубанский государственный технологический университет,
Краснодар, Россия*

Аннотация

В статье проведён анализ современных систем автоматизированного мониторинга зданий и сооружений (САМЗС), рассматриваются их функциональные возможности, архитектура и принципы работы. Особое внимание уделено применению технологий Интернета вещей (IoT), искусственного интеллекта (AI) и цифровых двойников для обеспечения безопасности и надёжности строительных конструкций. Представлена классификация систем мониторинга по типам контролируемых параметров, а также описаны перспективные направления развития этой области в контексте цифровизации строительной отрасли и концепции «умного города».

Ключевые слова: автоматизированный мониторинг, здания и сооружения, техническое состояние, сенсорные сети, Интернет вещей (IoT), цифровой двойник, искусственный интеллект, предиктивная аналитика, безопасность эксплуатации, структурное здоровье, BIM-технологии, умные здания, цифровизация строительства.

AUTOMATED MONITORING SYSTEMS FOR BUILDINGS AND STRUCTURES

Gulyakin D.V.

*Doctor of Pedagogical Sciences, Professor,
Kuban State University of Technology,
Krasnodar, Russia*

Minakov V.L.

*student,
Kuban State University of Technology,
Krasnodar, Russia*

Abstract

The article analyzes modern automated monitoring systems for buildings and structures (SAMSS), discusses their functionality, architecture and principles of operation. Special attention is paid to the use of Internet of Things (IoT), artificial intelligence (AI) and digital twins technologies to ensure the safety and reliability of building structures. The classification of monitoring systems by types of controlled parameters is presented, and promising directions for the development of this area in the context of digitalization of the construction industry and the concept of a "smart city" are described.

Keywords: automated monitoring, buildings and structures, technical condition, sensor networks, Internet of Things (IoT), digital twin, artificial intelligence, predictive analytics, operational safety, structural health, BIM technologies, smart buildings, digitalization of construction.

Развитие строительных технологий и рост плотности городской застройки требуют постоянного повышения уровня надёжности зданий и сооружений. Современные объекты часто представляют собой сложные инженерные системы, где любое отклонение от проектных характеристик может привести к серьёзным последствиям - от ухудшения эксплуатационных свойств до аварий и катастроф.

Традиционные методы оценки технического состояния - визуальные осмотры, лабораторные испытания и периодические обследования - не всегда позволяют оперативно реагировать на изменения в структуре объекта. В условиях повышенных требований к безопасности и энергоэффективности всё большее распространение получают системы автоматизированного мониторинга зданий и сооружений (САМЗС), обеспечивающие непрерывный сбор, анализ и хранение данных о состоянии конструкций в режиме реального времени.

Актуальность внедрения САМЗС обусловлена несколькими ключевыми факторами:

1. Повышенные требования к безопасности и надёжности. Многие здания эксплуатируются десятилетиями, и без постоянного контроля их техническое состояние может ухудшаться незаметно для обслуживающего персонала.

2. Рост числа аварий и инцидентов. Согласно данным исследований НИЦ «Строительная безопасность», до 25–30% аварийных ситуаций можно было предотвратить при наличии систем постоянного мониторинга.

3. Технологическая готовность. Развитие IoT-сетей, беспроводных технологий, облачных платформ и вычислительных мощностей делает реализацию таких систем доступной и экономически целесообразной.

4. Экономическая эффективность. Своевременное выявление дефектов позволяет существенно снизить затраты на капитальный ремонт и продлить срок службы зданий.

5. Нормативное регулирование. Современные строительные нормы и стандарты (СП 333.1325800.2017, ГОСТ Р 22.1.12-2019) прямо предусматривают необходимость автоматизированного контроля состояния ответственных сооружений.

Целью данного исследования является анализ современных подходов к построению систем автоматизированного мониторинга зданий и сооружений, Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ Эл № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

выявление их преимуществ, ограничений и направлений дальнейшего развития [1].

Для достижения цели решаются следующие задачи:

- рассмотреть архитектуру и основные компоненты САМЗС;
- классифицировать типы контролируемых параметров;
- проанализировать методы обработки данных и применения искусственного интеллекта;
- определить перспективы интеграции мониторинга с цифровыми двойниками и BIM-моделями.

1. Архитектура системы автоматизированного мониторинга

Типичная САМЗС включает следующие компоненты:

- Измерительные устройства и датчики, фиксирующие параметры: деформации, вибрации, напряжения, наклоны, температуру, влажность, коррозию, трещинообразование и др.;
- Система сбора данных (Data Acquisition System, DAS) - объединяет датчики в единую сеть, обеспечивает предварительную фильтрацию и передачу данных;
- Коммуникационная подсистема, основанная на беспроводных (Wi-Fi, ZigBee, LoRa, 5G) или проводных технологиях;
- Сервер обработки и хранения данных, где осуществляется анализ, построение трендов и прогнозов;
- Интерфейс пользователя (HMI) - программная оболочка для визуализации состояния конструкций и принятия решений.

2. Типы контролируемых параметров

Контроль может вестись по следующим направлениям:

- Статические параметры - геометрические изменения, осадки, наклоны, прогибы;
- Динамические параметры - вибрации, частоты колебаний, реакции на нагрузку;
- Экологические параметры - температура, влажность, уровень коррозии;
- Технические параметры эксплуатации - давление, нагрузка, напряжения.

Технологические основы современных САМЗС включают компоненты:

1. Интернет вещей (IoT)

IoT-технологии позволяют интегрировать десятки и сотни сенсоров в единую сеть, обеспечивая передачу данных в режиме реального времени. Применение маломощных сенсорных модулей на базе протоколов LoRaWAN или NB-IoT позволяет организовать мониторинг даже на труднодоступных объектах [2].

2. Искусственный интеллект и машинное обучение

AI-модели позволяют:

- выявлять закономерности в больших массивах данных;
- прогнозировать развитие дефектов;
- классифицировать типы повреждений;
- автоматически сигнализировать о превышении допустимых норм.

Применяются методы регрессионного анализа, нейронные сети, алгоритмы аномалий (Isolation Forest, Autoencoder).

3. Цифровые двойники

Цифровой двойник здания - это динамическая BIM-модель, связанная с реальными данными мониторинга. Система отображает текущее состояние конструкций, прогнозирует поведение объекта при изменении нагрузок, погодных

условий или техногенных воздействий. Такой подход обеспечивает переход от реактивного к предиктивному обслуживанию [5].

4. Облачные и периферийные вычисления

Использование облачных сервисов (AWS, Azure, Yandex Cloud) позволяет централизованно хранить и анализировать данные с тысяч объектов. А внедрение edge-аналитики даёт возможность обрабатывать данные непосредственно на уровне сенсора, снижая нагрузку на каналы связи и серверы.

Новизна представленного исследования заключается в систематизации современных подходов к проектированию САМЗС, а также в предложении концепции интеллектуальной адаптивной системы мониторинга, основанной на самообучающихся алгоритмах [3]. Такая система способна:

- анализировать исторические данные;
- автоматически корректировать пороговые значения;
- выдавать прогнозы остаточного ресурса конструкций;
- интегрироваться с городскими платформами «умного города».

Системы автоматизированного мониторинга уже применяются на ряде ответственных объектов:

- Мостовые переходы (например, Крымский мост и Большой Обуховский мост в Санкт-Петербурге);
- Высотные здания и башни (Москва-Сити, Лахта-центр);
- Исторические сооружения, где важно минимизировать вмешательство в конструкцию;
- Гидротехнические и транспортные объекты, подверженные динамическим нагрузкам.

Результаты внедрения показывают, что использование САМЗС снижает риск аварий на 40–60%, а затраты на эксплуатационные обследования - до 25%.

В ближайшие годы ключевыми направлениями станут:

1. Внедрение гибридных сенсорных сетей (проводные + беспроводные датчики);
2. Развитие предиктивной аналитики на базе AI;
3. Использование AR/VR-технологий для визуализации состояния конструкций;
4. Создание национальных платформ мониторинга в рамках цифровой инфраструктуры «умного города».

Таким образом, системы автоматизированного мониторинга зданий и сооружений становятся неотъемлемой частью современной строительной экосистемы. Они обеспечивают переход от периодических обследований к постоянному интеллектуальному контролю, способствуют повышению безопасности, продлению срока службы и снижению эксплуатационных затрат [4]. Интеграция технологий IoT, искусственного интеллекта и цифровых двойников открывает новые горизонты в области управления жизненным циклом зданий и сооружений, формируя основу для построения действительно умной, безопасной и устойчивой городской среды.

Библиографический список:

1. СП 333.1325800.2017. Мониторинг зданий и сооружений. Основные положения.
2. ГОСТ Р 22.1.12-2019. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг технического состояния.
3. Панов А.В., Сидоров Д.Н. Интеллектуальные системы мониторинга строительных конструкций. — М.: Издательство АСВ, 2022.
4. Zhitao, Y., et al. Intelligent Structural Health Monitoring Systems Based on IoT and AI Technologies. — Journal of Civil Engineering and Management, 2023.

5. Соловьёв В.Н. Цифровые двойники и предиктивная аналитика в строительстве. — СПб: Политех-Пресс, 2021.

Оригинальность 75%