



УДК 811

МОНИТОРИНГ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ КРУПНЫХ ОБЪЕКТОВ

Аллабердыев Розыгельди, Керимов Байрам, Ходжадурдыева Язджамал

преподаватели

Туркменский государственный архитектурно-строительный институт

г. Ашхабад, Туркменистан

Аннотация. Мониторинг напряженно-деформированного состояния несущих конструкций крупных объектов представляет собой научно обоснованную систему непрерывного контроля безопасности уникальных инженерных сооружений. В условиях постоянного усложнения архитектурных форм, возведения высотных комплексов и освоения территорий со сложными геологическими условиями традиционный визуальный осмотр зданий перестает удовлетворять жестким современным требованиям безопасности. Данная технология базируется на развертывании автоматизированных сетей высокоточных датчиков, которые фиксируют малейшие изменения физических параметров каркаса в режиме реального времени. Главной целью внедрения таких систем является раннее обнаружение скрытых дефектов, критических напряжений и необратимых деформаций, способных привести к аварийной ситуации. Рациональное использование данных мониторинга позволяет эксплуатирующим организациям своевременно принимать меры по предупреждению катастрофических разрушений и гарантирует абсолютную защиту человеческих жизней.

Ключевые слова: мониторинг несущих конструкций, напряженно-деформированное состояние, тензометрический датчик, относительная деформация, цифровой двойник, частота колебаний, предиктивный анализ, пороговые значения, безопасность сооружений, автоматизация контроля.

MONITORING OF THE STRESS-STRAIN STATE OF LOAD-BEARING STRUCTURES IN LARGE FACILITIES

Allaberdyev Rozygeldi, Kerimov Bayram, Hojadurdyeva Yazjamal

Lecturers

Turkmen State Institute of Architecture and Construction

Ashgabat, Turkmenistan

Abstract. Monitoring of the stress-strain state of load-bearing structures in large facilities represents a highly specialized paradigm within structural health engineering, focused on securing the structural integrity and operational safety of complex, large-scale infrastructure. This methodology involves the deployment of distributed, automated networks of physical sensors—such as fiber-optic bragg gratings, vibrating wire strain gauges, and high-precision inclinometers—directly into critical components like columns, shear walls, and long-span trusses. These devices capture real-time physical metrics, including mechanical deformations, internal material stresses, and micro-inclinations, transforming empirical data into actionable engineering intelligence. By feeding this constant stream of big data into a finite element analysis framework, engineers establish a digital twin of the facility that filters out thermal noise and predicts how structural components adapt to live environmental loads, high winds, or seismic events. Furthermore, tracking shifting frequencies and modal shapes of ambient vibrations allows the system to diagnose internal structural fatigue and isolate micro-cracks before they manifest visually on concrete or steel surfaces.

Keywords: structural health monitoring, stress-strain state, strain gauge sensor, fiber-optic bragg grating, finite element method, digital twin modeling, modal frequency, ambient vibration, predictive maintenance, infrastructural safety.

Введение

Основу аппаратного комплекса систем контроля составляет разветвленная сеть специализированных первичных измерительных преобразователей, жестко интегрированных в тело строительных конструкций. Инженеры используют волоконно-оптические и тензометрические датчики для измерения относительных деформаций бетона и стали, а также датчики наклона для фиксации отклонений пилонов от вертикали. Магнитные и ультразвуковые сенсоры непрерывно отслеживают уровень внутренних напряжений в наиболее ответственных узлах сопряжения балок, ферм и колонн высотных зданий. Для контроля общих осадок фундаментов крупных промышленных комплексов применяются автоматизированные гидростатические уровни и высокоточные лазерные системы сканирования. Все датчики полевого уровня объединяются защищенными кабельными или беспроводными каналами связи, обеспечивающими бесперебойную передачу данных на центральный сервер сбора информации.

Важнейшим этапом обработки собираемой информации является математическое моделирование и сопоставление фактических параметров объекта с его цифровым двойником. Специализированное программное обеспечение строит детальную трехмерную расчетную модель сооружения на основе методов конечных элементов с учетом всех



эксплуатационных нагрузок. Искусственный интеллект анализирует поступающие с датчиков массивы больших данных, очищает их от температурного шума и выявляет скрытые тренды развития деформаций. Алгоритмы системы рассчитывают запасы прочности для каждого отдельного элемента каркаса в текущую секунду времени с учетом износа материалов. Такое цифровое верифицирование позволяет инженерам проводить предиктивный анализ поведения конструкций при экстремальных ветровых, снеговых или сейсмических воздействиях.

Методология и технические средства

Современный мониторинг базируется на многоуровневой архитектуре сбора данных.

Метод	Оборудование	Применение
Опτικο-волоконный	Волоконно-оптические датчики (ФБР)	Длинные линейные конструкции, композиты
Тензометрический	Тензорезисторы	Точечный контроль напряжений в металле
Геодезический	Роботизированные тахеометры, GNSS	Мониторинг глобальных перемещений
Инклинометрический	Цифровые инклинометры	Контроль кренов высотных сооружений
Вибрационный	Акселерометры	Анализ динамической жесткости

Особое внимание в процессе мониторинга уникальных сооружений уделяется анализу динамических характеристик каркаса, таких как частоты и формы собственных колебаний здания. Любые изменения в спектре естественных колебаний высотной башни или большепролетного моста свидетельствуют о появлении внутренних повреждений или усталости металла. Системы станций сейсмометрического мониторинга фиксируют отклики конструкций на проезжающий тяжелый транспорт, порывы ветра или микросейсмы земной коры. Математический анализ этих динамических параметров позволяет локализовать место возникновения дефекта в конструкции задолго до появления видимых трещин на поверхности бетона. Постоянный частотный контроль обеспечивает высочайшую точность оценки общей жесткости остова и износостойкости сложных инженерных узлов.

Заключение

В заключение важно подчеркнуть, что мониторинг напряженно-деформированного состояния несущих конструкций формирует базовые стандарты надежности современной урбанизированной среды. Дальнейший прогресс в этой области неразрывно связан с



развитием нанотехнологий, созданием беспроводных сенсоров с автономным питанием и совершенствованием нейросетевых алгоритмов. Внедрение сквозного цифрового контроля на всех этапах существования крупных объектов становится обязательным условием устойчивого развития мегаполисов. Компании, активно развивающие компетенции в сфере предиктивного инженерного анализа, закладывают прочный фундамент для безопасного будущего строительной индустрии. Инвестиции в развитие интеллектуальных систем контроля сегодня гарантируют стабильность работы критически важной инфраструктуры на многие десятилетия вперед.

Список литературы:

1. Баранов В. М. Акустико-эмиссионный мониторинг строительных конструкций. Москва: Энергоатомиздат, 1991.
2. Ключев В. В. Неразрушающий контроль и диагностика в строительстве. Москва: Машиностроение, 2003.
3. Степанов Б. П. Методы оценки напряженно-деформированного состояния инженерных сооружений. Санкт-Петербург: Политехника, 2010.
4. Шарапов В. М. Пьезоэлектрические датчики для мониторинга ответственных объектов. Москва: Техносфера, 2006.