

АНТОНЕНКО А. О., НИЗИНА Т. А.

**АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ К МОНИТОРИНГУ
ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

Аннотация. Статья посвящена перспективам внедрения систем мониторинга российского производства технического состояния объектов нового строительства и зданий, за физическим состоянием которых необходимо постоянное наблюдение. В работе представлены современные способы сбора фактических характеристик и анализ их применения, исходя из актуальности, эффективности и экономической целесообразности.

Ключевые слова: здание, мониторинг, техническое состояние, контроль, датчики, напряжённо-деформированное состояние.

ANTONENKO A. O., NIZINA T. A.

**ANALYSIS OF MODERN APPROACHES TO MONITORING
TECHNICAL CONDITION OF BUILDINGS AND STRUCTURES**

Abstract. The article is devoted to the prospects for the introduction of Russian systems to monitor technical condition of new construction facilities and buildings, the physical condition of which requires constant monitoring. The study presents modern methods of collecting physical data and analyzing their application, based on relevance, effectiveness and economic feasibility.

Keywords: building, monitoring, technical condition, monitoring, sensors, stress-strain state.

Одним из факторов, отражающих принципы современного строительства, является стремление к обеспечению безопасности как во время возведения здания, так и в период его эксплуатации. Объект должен быть спроектирован с учётом современных норм и требований к строительству и соответствовать им в течение всего расчётного срока службы, что требует развития систем контроля технического состояния зданий и сооружений, позволяющую своевременно реагировать на возникающие проблемы и предотвращать аварийные ситуации.

В последнее время на территории нашей страны распространено строительство зданий и сооружений, отличающихся нестандартными объёмно-планировочными и конструктивными решениями, выполненными из новых материалов с применением современных технологий. Зачастую оказывается так, что уже в течение нескольких лет после введения объектов в эксплуатацию обнаруживаются дефекты и повреждения, которые приводят к значительному снижению их долговечности. В связи с этим возникает необходимость в систематическом наблюдении и контроле технического состояния строительных конструкций с целью уменьшения негативных последствий.

Одним из инструментов, используемых с целью поддержания необходимой надежности, функциональности и долговечности строительных изделий, конструкций, зданий и сооружений, является мониторинг. Мониторинг – специально организованная система непрерывного контроля и наблюдения за текущим состоянием объекта и его изменением в течение времени [1]. Основное преимущество мониторинга по сравнению с другими методами обследования зданий и сооружений проявляется в том, что в процессе наблюдения возможно отследить деформации объекта, либо его отдельных конструктивных элементов и, как следствие, предотвратить наступление негативных последствий. Использование систем мониторинга также помогает достичь таких результатов, как [2]:

- минимизация человеческого фактора при оценке технического состояния объекта;
- повышение уровня эксплуатационной безопасности, достигаемое за счет использования современных систем, позволяющих в реальном масштабе времени получать информацию об изменении технического состояния здания;
- использование специализированного интеллектуального программного оснащения систем мониторинга на базе современных информационных технологий, разработанных с учетом результатов предварительных натурных испытаний, теоретических расчётов и моделирования;
- сокращение времени обследования и др.

Для осуществления контроля и диагностики технического состояния зданий и сооружений рекомендуется [2] устанавливать автоматизированную цифровую систему модульного типа с распределённой обработкой данных, осуществляющую передачу полученной информации по цифровой линии связи на центральную вычислительную станцию. Данная система позволяет передавать необходимые данные с сенсорных измерительных узлов на большие расстояния без искажения и потерь во времени. Информация, полученная от измерительных узлов системы мониторинга, в полном объёме хранится в памяти объектовой информационно-вычислительной станции в течение некоторого срока, достаточного для комплексного анализа данных и выявления мест накопления повреждений. По истечению этого срока первичная информация, равно как и результаты анализа данных, переносятся на съёмные носители для последующего долговременного хранения. При этом в памяти объектовой информационно-вычислительной станции остаются только обобщённые результаты мониторинга за весь период эксплуатации объекта [2].

В зависимости от вида здания, типа и материала конструкций и технических задач системы мониторинга, как способ неразрушающего контроля основных несущих конструкций, классифицируются по выбранному методу сбора информации:

– метод акустической эмиссии, основанный на регистрации упругого энерговыделения при разрушении и деформации материалов. Использование данного метода позволяет обнаруживать дефекты, развивающиеся в процессе эксплуатации конструкций, устанавливать их характер, местоположение и степень опасности;

– измерение напряженного состояния и перемещений элементов конструкций, возникающих в ходе эксплуатации здания, что позволяет контролировать положение и нарастание деформаций конструктивных элементов;

– анализ собственных частот основных форм колебаний элементов конструкций, позволяющий оценивать текущее состояние несущих конструкций и выделять из них конструкции, наиболее подверженные влиянию разрушающих факторов.

В период эксплуатации необходимо регулярное наблюдение за состоянием грунтового массива, контактирующего с фундаментом и другими конструкциями зданий или сооружений, активностью негативных геологических процессов. При мониторинге геологических процессов необходимо получать информацию о вертикальных и горизонтальных перемещениях грунтов, напряжённо-деформированном состоянии в местах контакта конструкций с грунтовым массивом и сейсмических воздействиях [3].

Система геотехнического мониторинга – одна из важнейших частей комплекса осуществления безопасности любых строительных объектов, которая должна входить в стационарную станцию. Наблюдение и сбор данных осуществляется с помощью автоматизированных средств наблюдения (датчиков) с использованием беспроводных технологий, например, по спутниковым системам [4].

При создании данной системы по периметру строительного объекта и на отдельных его конструктивных элементах размещают высокоточные приёмники. Помимо этого, создаётся опорная сеть на основе базовых станций. В условиях современных реалий необходимо обращать внимание на оборудование отечественного производителя. Так, например, приёмник 4GNSS DEKART российской компании ГК «Ориент Системс» не уступает зарубежным аналогам по техническим характеристикам. К тому же он является более доступным по цене в отличие от приёмников иностранных компаний. Кроме того, существует возможность проведения быстрого ремонта или замены приёмника в случае выхода его из строя. Технические параметры данной системы указаны в таблице 1. Отечественный приёмник отличается более высокой точностью и большим диапазоном рабочих температур.

Технические характеристики приёмника 4GNSS DEKART [5]

Технические характеристики	Фактические значения
Число каналов	574 канала (GPS: L1 C/A, L1/L2 P, L5; BeiDou: B1, B2, B3; GLONASS: L1, L2; Galileo: E1, E5a, E5b)
Точность при DGPS-съёмке	< 0,4 м 3D СКО
Точность при статической съёмке	в плане 2,5 мм + 0,5 мм/км по высоте 5 мм + 0,5 мм/км
Точность при RTK-съёмке	в плане 8 мм + 1 мм/км по высоте 15 мм + 1 мм/км
Рабочая температура, °С	-40...+80

Определяя координаты контрольных точек и сопоставляя результаты измерений, возможно проанализировать изменение пространственного положения объекта и его конструктивных элементов относительно друг друга. Также необходимо постоянное владение информацией о перемещениях грунта (аналогично системе мониторинга изменения пространственного положения здания), но с размещением приёмников непосредственно на поверхности грунта или на торцевом конце анкера и наблюдением в автоматическом режиме при помощи стационарных инклиометрических систем [3].

При этом следует отметить целесообразность применения российских беспроводных инклинометров ИН-ДЗ LoRaWAN, работающих по протоколу LoRaWAN (подключенных к собственной базовой станции), позволяющих определять угловые подвижки объекта мониторинга в местах, где расположение проводных каналов связи и питания датчиков невозможно или нецелесообразно [6]. Данные измерений могут регистрироваться и анализироваться непрерывно в специальном программном модуле или сохраняться в течение некоторого времени во внутренней памяти автоматического регистратора для дальнейшей обработки. Технические параметры данной системы указаны в таблице 2.

Технические характеристики инклинометра ИН-ДЗ LoRaWAN [6]

Технические характеристики	Фактические значения
Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерений угла, % от диапазона	± 0,5
Фактическое значение основной погрешности, % от диапазона измерений	0,15 0,1
Средний срок службы, лет	15
Рабочая температура, °С	-50...+60

Устройство системы датчиков возможно двумя способами:

- установка собственной базовой станции LoRaWAN, которая подключается к Internet (при этом затраты по созданию собственного покрытия радиосети LoRaWAN минимальны);
- подключение инклинометров ИН-ДЗ LoRaWAN к сети операторов связи LPWAN и использование их инфраструктуры.

Также необходимо систематическое наблюдение за состоянием и изменениями гидрогеологических параметров. Для измерения уровня жидкости в грунтах в организованных наблюдательных скважинах, порового давления при проведении геотехнического мониторинга на этапе строительства и эксплуатации могут использоваться различные виды пьезометров [3]. Так, например, пьезометр PLLG-D01 является целесообразным вариантом за счёт наличия цифрового выхода RS-485, который позволяет подключать большое количество датчиков на одну измерительную линию на расстояния до 800 м [7]. Технические параметры пьезометра указаны в таблице 3. Также отличительной особенностью является возможность организации беспроводного подключения к сети, работающей по вышеупомянутой технологии LoRaWAN.

Таблица 3

Технические характеристики пьезометра PLLG-D01 [7]

Технические характеристики	Фактические значения					
Диапазон измерений избыточного давления, Бар	0,1	0,3	1	3	10	20
Диапазон измерений уровня водяного столба в открытой скважине, м	1	3	10	30	100	200
Предел допускаемой приведенной основной погрешности измерений избыточного давления, %	±0,1					
Рабочая температура, °С	-60...+120					

Сравним данную модель с зарубежным аналогом – пьезометром от одной из самых высокотехнологичных корейских компаний в этой сфере Sungjin Geotec (марка модели SJ-4000). Датчик имеет цилиндрический корпус из нержавеющей стали, на конце которого расположен пористый фильтр. Вода проходит через фильтр и оказывает давление на мембрану, которая передает воздействие на струну, увеличивая или уменьшая ее натяжение. Две электромагнитные катушки, находящиеся внутри датчика, производят возбуждение струны и считывание с нее резонансной частоты колебаний. Считанный сигнал обрабатывается с помощью дата-логгера. Технические параметры пьезометра указаны в таблице 4.

Российский пьезометр отличается более высокой точностью и большим диапазоном измерений и рабочих температур и не уступает корейскому аналогу в точности.

Технические характеристики пьезометра SJ-4000 [8]

Технические характеристики	Фактические значения
Диапазон измерений, кПа	350
Максимальное давление, %	150
Точность, %	$\pm 0,1$
Рабочая температура, °C	-40...+80
Точность измерения температуры, °C	± 1

При учёте динамики развития напряжений в конструкциях лучшим технологическим решением является применение тензометрических датчиков [3], например, российского закладного тензометра SVWG-EC [9]. С его помощью возможно получение информации о напряжениях и деформациях в несущих бетонных строительных конструкциях и мониторинг напряжённого-деформированного состояния конструктивных элементов. Закладные тензометры крепятся вязальной проволокой к арматурному каркасу во взаимно перпендикулярных направлениях перед заливкой бетона. Впоследствии напряжения растяжения и сжатия бетонного массива передаются на тензометр с помощью закладных якорей. Технические параметры тензометра указаны в таблице 5.

Технические характеристики тензометра SVWG-EC [9]

Технические характеристики	Фактические значения
Диапазон измерений, мкм/м	0...3300
Диапазон изменения частоты колебания струны, Гц, $\pm 20\%$	500-2000
Основная приведенная погрешность, % от диапазона	± 1
Рабочая температура, °C	-50...+60

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы:

1. Развитие систем мониторинга необходимо для достижения общей безопасности здания за счёт систематического наблюдения и прогнозирования рисков, вида и скорости развития разрушений, превышающих технические возможности объекта;

2. Для обеспечения всестороннего контроля за состоянием здания или сооружения необходимо использовать комплекс измерительных приборов, способных контролировать различные показатели как конструктивных элементов, так и грунтового массива. Такой подход позволит получать точную и подробную информацию о состоянии объекта путем анализа данных, полученных от различных типов датчиков;

3. Наиболее целесообразно размещение систем мониторинга в грунтовой массив и конструктивные элементы, расположенные ниже уровня поверхности грунта, что позволит следить за состоянием наименее доступной и наиболее нагруженной части здания;

4. Необходимо развитие отечественных систем мониторинга, в качестве замены зарубежным компаниям, ушедшим с российского рынка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Леденёв В. В., Ярцев В. П. Обследование и мониторинг строительных конструкций зданий и сооружений: учебное пособие. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. – 252 с.
2. Требования к техническим средствам и системам комплексного обеспечения безопасности, автоматизации и связи многофункциональных высотных зданий и комплексов. Пособие для специалистов проектных и монтажных организаций, заказчиков, страховых компаний, инвесторов и контролирующих органов. – М., 2005. – 55 с.
3. Таракановский В. К. Обзор современных средств мониторинга состояния конструкций и грунтов оснований высотных зданий // Предотвращение аварий зданий и сооружений: сборник научных трудов. – М., 2010. – Вып. 9. – С. 243–262.
4. СП 305.1325800.2017. Правила проведения геотехнического мониторинга при строительстве. – 61 с.
5. Спутниковый приёмник 4GNSS DEKART [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://geo4u.ru/4gnss_dekart (дата обращения 15.05.2024).
6. Инклинометр ИН-ДЗ LoRaWAN [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ntpgorizont.ru/product/ind3-lorawan> (дата обращения 15.05.2024).
7. PLLG-D01 пьезометр [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ntpgorizont.ru/product/pllg-d01> (дата обращения 17.05.2024).
8. Струнный пьезометр серии SJ-4000 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://monsol.ru/strunnij-piezometr-serii-sj-4000> (дата обращения 17.05.2024).
9. SVWG-EC Закладной тензометр [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ntpgorizont.ru/product/svwg-01-ec200-300-400-datchik-deformatsii> (дата обращения 15.05.2024).