

Роль СМИК в управлении жизненным циклом сооружений: как мониторинг помогает в проектировании, строительстве и эксплуатации

Современные сооружения становятся все более сложными по геометрии, нагрузкам и условиям эксплуатации, а требования к их безопасности, надежности и экономической эффективности постоянно растут. В этих условиях управление жизненным циклом объекта невозможно без объективных данных о его фактическом состоянии. [Системы мониторинга инженерных конструкций \(СМИК\)](#) переходят из вспомогательного инструмента в ключевой элемент принятия инженерных и управленческих решений.

Определения и базовые понятия

Система мониторинга инженерных конструкций – совокупность технических и программных средств, предназначенных для получения, накопления и анализа данных о фактическом состоянии сооружения. Ее основная задача заключается не просто в фиксации параметров, а в формировании достоверной картины поведения конструкции под действием нагрузок и внешних факторов. В отличие от разовых обследований, СМИК работает на принципах системности, повторяемости и сопоставимости данных во времени.

Из чего состоит СМИК

СМИК включает несколько взаимосвязанных уровней, каждый из которых выполняет свою функцию в общем контуре мониторинга:

- датчики;
- оборудование сети сбора и передачи данных;
- серверы и контроллеры СМИК;
- пользовательские интерфейсы.

Виды мониторинга

По характеру регистрируемых процессов мониторинг принято делить на статический и динамический. Первый ориентирован на медленно меняющиеся параметры:

- осадки;
- ползучесть;
- температурные деформации;
- долговременные наклоны.

Динамический мониторинг анализирует колебательные процессы, отклики на транспортные, ветровые или сейсмические воздействия и позволяет оценивать жесткость и демпфирование конструкции.

С точки зрения временной организации выделяют непрерывный и периодический мониторинг. Первый предполагает постоянную регистрацию параметров и используется для ответственных и потенциально опасных объектов. Второй применяется там, где достаточно измерений через заданные интервалы времени.

Отдельно стоит выделить дистанционный мониторинг. При нем данные собираются без постоянного присутствия персонала на объекте и передаются удаленно для централизованного анализа.

Используемые технологии

В современных СММК используется широкий спектр измерительных средств, выбор которых определяется задачами и типом сооружения:

- акселерометры;
- тензометры;
- инклинометры;
- системы GPS и GNSS o;
- оптоволоконные датчики на основе решеток Брэгга (FBG);
- LiDAR и фотограмметрия;
- беспилотники.

Роль СММК в управлении жизненным циклом — общая модель

Жизненный цикл инженерного сооружения включает последовательные стадии: проектирование → строительство → эксплуатация → утилизация/реконструкция. На каждом из этих этапов объект находится в разных условиях по нагрузкам, воздействиям и уровню неопределенности, что требует различных подходов к управлению техническим состоянием.

Проектирование

ГОСТ Р 22.1.13-2013 играет ключевую роль на этапе проектирования, определяя порядок создания и эксплуатации структурированных систем мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Согласно данному документу, такая система должна обеспечивать постоянный сбор данных о работе инженерных систем, что позволяет скорректировать проекты и уменьшить количество потенциальных проблем ещё на начальном этапе. В частности, это подразумевает анализ фактического поведения грунта, оценка реальных нагрузок и учет влияния климатических факторов, полученных с аналогичного или действующего объекта. Например, согласно пункту 1.1 ГОСТ Р 22.1.13-2013, стандартные требования применяются при разработке перечня мероприятий по гражданской обороне и предупреждению чрезвычайных ситуаций, а также для включения в проектную документацию специальных мероприятий по безопасной эксплуатации объектов капитального строительства. Дополнительно следует отметить ГОСТ 32019-2012, который определяет правила проектирования и установки стационарных систем мониторинга уникальных зданий и сооружений.

Строительство

На этапе строительства основной задачей является контроль соответствия выполненным работ проекту и поддержание высокого уровня безопасности. Здесь активно применяется ГОСТ Р 22.1.13-2013, определяющий правила и этапы создания систем мониторинга, необходимые для оперативного реагирования на возникающие проблемы. Например, установка датчиков позволяет контролировать движение конструкций и быстро обнаружить возможные дефекты.

Согласно ГОСТ Р 22.1.15-2014, технический выбор устройств мониторинга должен учитывать разнообразие ситуаций и включать дифференцированный подход к различным объектам. Этот стандарт помогает подобрать оптимальное оборудование для конкретной площадки, учитывая её уникальные характеристики.

Кроме того, важно обратить внимание на ГОСТ Р 22.2.13-2023, который диктует порядок разработки мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций на этапе

проектирования. Этот новый стандарт задаёт направление для инженеров-проектировщиков, позволяя заранее предусмотреть потенциальные угрозы и минимизировать риски.

Эксплуатация

ГОСТ Р 22.1.13-2013 и ГОСТ 32019-2012 играют важную роль на этапе эксплуатации. СМИК реализуют подход Structural Health Monitoring, обеспечивая раннее выявление повреждений и контроль деградации конструкций на основе фактических данных. Анализ изменений деформаций, колебательных характеристик и нагрузок позволяет прогнозировать износ и предотвращать развитие критических дефектов. Данные мониторинга применяются для планового и внепланового техобслуживания. СМИК также поддерживает управление рисками за счет автоматических оповещений и удаленного доступа, повышая готовность к аварийным ситуациям.

Технологии обработки данных и аналитика

Современные системы используют телеметрию и специализированные протоколы связи с размещением данных на локальных серверах или в облачных платформах, обеспечивающих масштабируемость и отказоустойчивость. Перед анализом данные проходят предобработку, включающую фильтрацию, нормализацию и коррекцию шумов для повышения достоверности результатов.

Аналитический уровень сочетает простые пороговые методы с статистическими моделями, цифровыми двойниками и алгоритмами машинного обучения. Это позволяет не только фиксировать отклонения, но и выявлять тренды, прогнозировать развитие дефектов и оценивать сценарии воздействия. Результаты представляются в виде дашбордов, а интеграция с BIM и цифровыми двойниками обеспечивает единое информационное пространство объекта.

Регулирование, стандарты и требования

Внедрение СМИК опирается на национальные и международные нормативы, включая стандарты ISO и EN в области SHM, а также действующие строительные и гигиенические регламенты. Эти документы определяют требования к надежности измерений, обработке данных и условиям эксплуатации систем мониторинга. Отдельное внимание уделяется правовым аспектам ответственности, доступу к информации и срокам хранения мониторинговых данных.

Корректное формирование технического задания на СМИК является ключевым фактором успешного внедрения. В ТЗ рекомендуется четко определять цели мониторинга, контролируемые параметры, требования к точности, режимам работы и интеграции с существующими цифровыми системами.

Мы предлагаем услуги по разработке проекта СМИК

«КСМ» занимается проектированием, внедрением и сопровождением систем мониторинга инженерных конструкций и инженерных систем на объектах различного уровня сложности. Наша команда работает с полным циклом СМИК — от обследования и формирования технического решения до монтажа, пусконаладки и дальнейшей эксплуатации. В основе нашей работы лежит инженерный подход, опора на нормативные

требования и практический опыт реализации мониторинга на ответственных и уникальных сооружениях.

Пример работ: восстановление СМИК и СМИС Керченского моста

В рамках данного проекта мы выполнили комплекс работ по [восстановлению работоспособности систем мониторинга инженерных конструкций и инженерных систем моста](#) после повреждений. Наши специалисты провели демонтаж вышедших из строя элементов, поставку и монтаж нового оборудования, а также пусконаладку и проверку корректности передачи и обработки данных. В результате была восстановлена непрерывность мониторинга и обеспечен надежный контроль технического состояния сооружения в эксплуатации, что является критически важным для объекта такого масштаба и значимости.

Системы мониторинга инженерных конструкций являются ключевым инструментом управления надежностью и безопасностью сооружений на всех этапах их жизненного цикла. В перспективе развитие СМИК будет тесно связано с цифровыми двойниками, применением алгоритмов искусственного интеллекта и интеграцией в экосистемы умных городов. Это позволит перейти от контроля отдельных параметров к комплексному управлению инфраструктурой на основе прогнозов, сценарного анализа и автоматизированных решений.