

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА СТРОИТЕЛЬНОГО МОНИТОРИНГА

*Докт. техн. наук, проф. СОЛОМАХО В. Л.,
МИРОШНИЧЕНКО И. Ф., ПЕТРУСЕНКО П. А.*

Белорусский национальный технический университет

Современные здания и инженерно-технические сооружения относятся к категории строительных объектов, аварийное состояние которых может привести к катастрофическим последствиям. Острота ситуации связана с широким применением нестандартных архитектурно-планировочных подходов, уникальностью конструктивно-технологических решений при строительстве спортивных, киноконцертных, выставочных комплексов.

Наличие сложных конструктивных элементов, находящихся в комплексном многопараметрическом взаимодействии как между собой, так и с окружающей средой, определяет высокие требования к качеству проектирования и строительства, а также неизбежно сопряжено с возможностью возникновения дефектов на стадии эксплуатации.

Любое разумное проектное решение не является абсолютной гарантией безопасного функционирования зданий и сооружений и не может исключить снижения надежности в связи с возможными отклонениями в технологии проведения строительных работ, реализацией факторов риска природно-техногенного характера.

Как показывает статистический анализ, повреждения и дефекты в конструкциях зданий на 10–12 % являются результатом ошибок в геологических исследованиях, 18–20 % – в проектировании, примерно 50 % дефектов связаны с ошибками, возникающими на стадии строительства, в 20 % случаев – на стадии эксплуатации (рис. 1).

Надежная и безопасная работа строительных конструкций зданий и сооружений может быть обеспечена при правильном и своевре-

менном проведении технического диагностирования с использованием современных методов и средств контроля на всех стадиях жизненного цикла строительных объектов, при достоверном прогнозировании ресурса их безопасной эксплуатации. Решением данной проблемы является создание системы строительного мониторинга, включающей в себя технические средства, обеспечивающие раннее выявление возможности обрушения здания под влиянием конструктивно-технологических, эксплуатационных и природно-техногенных воздействий.

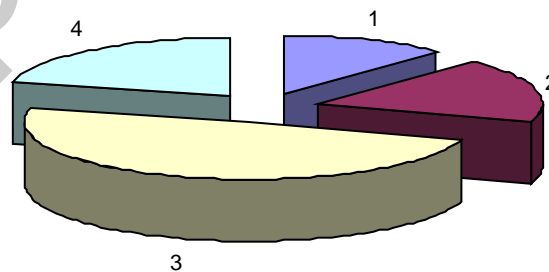


Рис. 1. Процентное соотношение дефектов, возникающих на различных стадиях жизненного цикла объекта: 1 – геологических исследований; 2 – проектных работ; 3 – строительства; 4 – эксплуатации

В настоящее время в мировой практике наблюдается тенденция перехода от периодического контроля к мониторингу строительных объектов с использованием комплексных автоматических систем [1, 2]. Необходимость такого решения связана в первую очередь с высокими скоростями роста эксплуатационных дефектов и, как следствие, относительно малым периодом времени от момента возникновения дефекта до ее полного разрушения.

На мировом рынке существует ряд производителей систем строительного мониторинга,

наиболее известными из которых являются Geokon, США, Мониторинг-Центр, Россия, Campbell Scientific, США.

Переход на автоматическую систему непрерывного контроля технического состояния (систему мониторинга) позволяет:

- получать измерительную информацию в полном объеме и в установленные сроки независимо от сложности доступа к элементам объекта в процессе эксплуатации;
- обеспечить полную автоматизацию контрольных процедур;
- получить высокую информативность за счет многократных измерений контролируемых параметров конструкции;
- добиться высокой достоверности результатов за счет исключения субъективного фактора вследствие автоматизации контроля, применения современных методов и средств измерений, использования оптимизированных алгоритмов обработки информации.

Факторы, являющиеся причиной дефектов, могут быть классифицированы следующим образом: геологические и гидротехнические, конструктивные и эксплуатационные. К первой группе факторов относятся уровни залегания грунтовых вод, поверхностные и глубинные смещения грунта и др. К конструктивным факторам следует отнести усилия на опорных конструкциях основания и инженерной защиты, нагрузки на элементах жесткости, усилия в арматуре несущих элементов, усилия и деформа-

ции в бетоне и арматуре фундамента и др. К эксплуатационным факторам относятся ветровые и снеговые нагрузки, усталостное разрушение элементов конструкции, физико-химические процессы разрушения материалов и арматуры (коррозия, износ стенок, трещинообразование).

На повреждаемость конструкции существенное влияние оказывает характер возникающих нагрузок.

Статические нагрузки характеризуют общее напряженно-деформированное состояние конструкции. Статические нагрузки могут привести к разрушению конструкции в случаях:

- несоответствия эксплуатационных нагрузок расчетным;
- наличия в конструкции грубых производственных дефектов.

Повторно-статические (периодические) нагрузки являются причиной появления локальных напряженно-деформированных участков с повышенным уровнем напряжений. Эти участки группируются в зоне геометрических концентраторов и других нерегулярностей. Данные нагрузки приводят к возникновению или интенсификации дефектов, изменяют проектное положение конструкции.

По длительности воздействия нагрузки, действующие на здания и сооружения, можно классифицировать на постоянные и временные (табл. 1).

Таблица 1

	Вид нагрузки		Источники возникновения и характер проявления
1	Постоянные		Вес сооружения, в том числе вес несущих и ограждающих строительных конструкций, вес и давление грунтов
2	Временные	Длительные	Вес временных перегородок; вес стационарного оборудования, емкостей, трубопроводов с арматурой; вес жидкостей и твердых тел, заполняющих оборудование; давление газов, жидкостей и сыпучих тел в емкостях и трубопроводах; нагрузки от складированных материалов и стеллажного оборудования, температурные, климатические воздействия, обусловленные изменением влажности, усадкой и ползучестью материалов
		Кратковременные	Нагрузки оборудования, используемого при наладке, нагрузки от подвижного подъемно-транспортного оборудования: погрузчиков, дельферов, лифтов, ветровые, гололедные и снеговые нагрузки
		Особые	Сейсмические взрывные воздействия, воздействия, обусловленные деформациями основания, связанные с коренным изменением структуры грунта, нагрузки, вызываемые резким нарушением технологического процесса

Принимая во внимание многообразие факторов, влияющих на техническое состояние строительных конструкций, и сложность их математического описания, рациональным способом мониторинга технического состояния строительных конструкций является контроль параметров их напряженно-деформированного состояния, функционально связанных со всеми перечисленными факторами.

Системы строительного мониторинга можно рассматривать как частный случай SCADA-систем, предназначенных для сбора и анализа информации о процессах с целью выработки решений по их управлению. Рассмотрим типовую структурную схему системы строительного мониторинга (рис. 2). В структуру системы входят первичные преобразователи ПП1–ППN физических величин, характеризующих напряженно-деформированное состояние конструкции (механические напряжения, деформации), усилители У1–УN и фильтры Ф1–ФN измерительных сигналов, аналого-цифровые преобразователи АЦП1–АЦПN, мультиплексор MUX и управляющий компьютер. Первичные преобразователи, усилители, фильтры и аналого-цифровые преобразователи можно условно объединить в блок из N датчиков, преобразующих входную физическую величину в цифровой сигнал с предварительной фильтрацией паразитных сигналов.

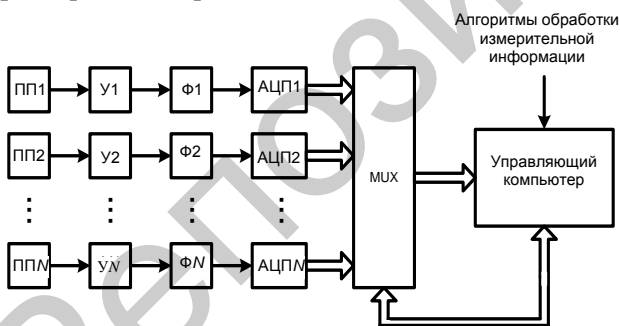


Рис. 2. Типовая структурная схема системы строительного мониторинга

Мультиплексор, управляемый компьютером, производит селекцию сигналов и подает выбранный сигнал в компьютер. Управляющий компьютер осуществляет обработку цифрового сигнала по определенным алгоритмам с предварительной цифровой фильтрацией. В резуль-

тате обработки сигналов N датчиков производится заключение о фактическом напряженно-деформированном состоянии контролируемого объекта.

В качестве первичных преобразователей деформации в системе могут применяться пьезоэлектрические, магнитоупругие, тензорезистивные, волоконно-оптические и пьезорезонансные первичные преобразователи [3, 4]. Кроме того, для этих целей можно использовать широкую номенклатуру первичных преобразователей перемещения, дополнив их механическими преобразователями деформации в перемещение (чаще всего используется система анкеров). Для измерения механических напряжений обычно применяются пьезоэлектрические, магнитоупругие, пьезорезистивные, волоконно-оптические, ультразвуковые первичные преобразователи [5].

В зависимости от вида модуляции выходного сигнала все преобразователи можно подразделить на амплитудные (тензорезистивные, магнитоупругие, пьезоэлектрические, пьезорезистивные, др.), частотные (струнные, некоторые виды волоконно-оптических, пьезорезонансные, др.) и кодовые (частный вид преобразователей перемещения). При проектировании систем строительного мониторинга предпочтительно использовать частотные и кодовые первичные преобразователи, поскольку они обладают высокой помехозащищенностью и менее требовательны к параметрам линий связи и мультиплексорам, а такой информативный параметр сигнала, как частота, может измеряться с высокой точностью достаточно простыми средствами, например частотомером на базе микроконтроллера.

В качестве мультиплексоров цифровых сигналов могут использоваться практически любые из представленных на рынке устройств, например продукция фирмы Maxim. В случае необходимости мультиплексирования аналоговых сигналов (например, для уменьшения числа АЦП и фильтров в системе) целесообразно использовать высокопроизводительные аналоговые мультиплексоры MAX306/MAX307 фирмы Maxim, ADG726/ADG732, ADG701/ADG702

фирмы Analog Devices и другие подобные схемы.

В связи с тем, что основной задачей систем строительного мониторинга является регистрация изменения напряженно-деформированного состояния конструкции и оценка степени этого изменения, достаточно использовать первичные преобразователи (и датчики в целом) с относительной погрешностью, не превышающей 2 %. При этом метрологические характеристики датчиков должны обладать стабильностью в течение длительного времени. Погрешности некоторых датчиков деформации систем строительного мониторинга приведены в табл. 2.

Таблица 2

Наименование	Вид первичного преобразователя	Производитель	Относительная погрешность, %
Geokon 4000	Струнный	Geokon, США	$\pm 0,1$
Geokon 4200	Струнный	Geokon, США	$\pm 0,5$
Geokon 4911	Струнный, вмонтирован в арматурный прут	Geokon, США	$\pm 0,25$
DiTeSt STA200	Волоконно-оптический	Omnisens SA, Швейцария	$\pm 0,2$
ВОДД	Волоконно-оптический	Мониторинг-Центр, Россия	$\pm 0,5$

Измерительная информация, полученная управляющим компьютером, подвергается математической обработке с использованием различных алгоритмов, соответствующих задачам системы. При решении наиболее общей задачи (фиксация изменения состояния системы и его оценка) применяется простая статистическая обработка с построением тренда. Если система призвана решать более сложные задачи, например локализация дефекта и прогнозирование его роста, а также прогнозирование несущей

способности конструкции на определенный срок, требуется применять более сложные математические методы [6]. К таким методам относятся экстраполяция на основе нелинейного регрессионного анализа, нечеткая логика, нейронные сети, применение экспертных оценок и морфологического расчленения.

ВЫВОДЫ

1. Современные архитектурно-планировочные и конструктивно-технологические решения при проектировании и строительстве зданий и сооружений требуют создания систем мониторинга напряженно-деформированного состояния с целью анализа их технического потенциала.

2. Исследованы общие принципы построения систем строительного мониторинга, предложена их типовая структурная схема и проведена классификация используемых технических средств.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Егоров, Ф. А.** Контроль и диагностика параметров строительных сооружений с помощью волоконно-оптических систем мониторинга / Ф. А. Егоров, А. П. Неугодинов, В. И. Поспелов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2006. – № 6.
2. **Строительный мониторинг** на базе пьезокерамических датчиков / Е. В. Коньков [и др.] // Строительная орбита. – 2005. – № 2. – С. 48–49.
3. **Малов, В. В.** Пьезорезонансные датчики / В. В. Малов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 272 с.
4. **Световодные датчики** / Б. А. Краснюк [и др.]. – М.: Машиностроение, 1990. – 256 с.
5. **Фомица, Л. М.** Измерение напряжений в железобетонных конструкциях / Л. М. Фомица, Р. А. Сумбатов. – Киев: Будівельник, 1994. – 168 с.
6. **Гмошинский, В. Г.** Теоретические основы инженерного прогнозирования / В. Г. Гмошинский, Г. И. Флиорент. – М.: Наука, 1973. – 304 с.

Поступила 20.08.2007