

**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ МОНИТОРИНГА  
ЗА ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ  
В ПРОЦЕССЕ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

**Бондаренко И.Н.**

*Профессор кафедры «Испытания сооружений» МГСУ, кандидат технических наук*

**Мартынов А.В.**

*Инженер кафедры «Техническая эксплуатация зданий» МГСУ*

**Мокасеев А.В.,**

*Аспирант кафедры «Техническая эксплуатация зданий» МГСУ*

Под мониторингом следует подразумевать длительное наблюдение за состоянием зданий и сооружений с целью определения возможных изменений прочностных и деформативных характеристик его конструкций и здания в целом во времени и определение технических мероприятий по его безопасной дальнейшей эксплуатации.

Вопросы длительного мониторинга за состоянием зданий и сооружений стояли перед специалистами-изыскателями, занимающимися этими вопросами профессионально, и ранее (например, длительное наблюдение за Останкинской телевизионной башней), но особенно они обострились в последнее время в связи с увеличением количества аварий.

Основные причины этого явления:

1. Уменьшение коэффициента надежности при расчетах. Если в 60-х – 70-х годах коэффициент запаса составлял величину 1,8-2,0, то в настоящее время его снизили на 60-70%.
2. Отмена СНиП 10-01-94, регулирующего обязательное применение всех нормативных документов в строительстве.
3. Уплотнение застройки, увеличение нагрузок на основания, а также строительство новых высотных зданий в непосредственной близости от существующих эксплуатируемых зданий.
4. Необходимость сохранения памятников архитектуры и культуры, формирующих облик г. Москвы, а также проведения реставрационных и ремонтно-строительных работ.
5. Повальное увлечение реконструкцией существующих зданий с увеличением нагрузок на перекрытия, стены и фундаменты. Возведение пристроек, надстроек, встроек.
6. Ошибки, допускаемые при проектировании и строительстве, низкая квалификация рабочих.
7. Применение облегченных и легковозводимых конструкций, не имеющих достаточного запаса прочности.
8. Ухудшение экологической ситуации в г. Москве. За длительный период эксплуатации конструкции здания подвергаются воздействию разрушающих факторов. При этом характер и цикличность этого воздей-

ствия со временем могут существенно изменяться. В условиях больших городов, таких как Москва, к наиболее характерным разрушающим здание факторам можно отнести:

- а) действие на строительные конструкции вредных автомобильных газов ( $\text{CO}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  и др.) в результате интенсивного движения автотранспорта по магистралям, расположенным рядом со зданиями. Исследования показали, что автомашина, проехавшая один километр, по пути своего следования оставляет 44 грамма загрязняющих веществ, которые, попадая в воздух, грунт, водную среду, образуют растворы кислот и щелочей, разрушающие материалы зданий и сооружений;
- б) воздействие на здание, создаваемое вибрацией от движущегося транспорта (метро, ж/д, автотранспорт);
- в) резкие температурные перепады в зимнее и летнее время года, появившиеся в течение последних 10-15 лет в связи с изменением климатических условий на планете;
- г) влияние на конструкции растворенных во влаге агрессивных элементов – продуктов выбросов промышленных предприятий;
- д) применение соляных составов для очистки проезжей части улиц от льда и снега в зимнее время;
- е) воздействие на конструкции блуждающих токов, распространению которых способствуют те же соляные растворы;
- ж) происходящие непредвиденные деформации грунтов;
- и) влияние карстовых образований и т.д.

Скорость агрессивного воздействия окружающей среды на конструкции зданий в последнее время значительно возросла. Об этом свидетельствуют многочисленные трещины, появившиеся на фасадах зданий в Москве, достаточно частые обрушения конструкций, дорог и отдельных элементов, осадки зданий, отслоение облицовки и покраски фасадов, разрушение кирпичных карнизов, балконов, цоколей, отмосток, коррозия кровельных материалов, гниение оконных и дверных заполнений.

Современные методы мониторинга состояния зданий разнообразны по исполнению, информативности, стоимости работ, точности полученных результатов, сложности применяемой аппаратуры. Перед проведением мониторинга в здании выполняется детальное обследование его конструкций, отмечаются все выявленные дефекты, разрабатывается методика проведения мониторинга, определяются места установки и закладки аппаратуры и периодичность съема информации.

Не претендуя на полное освещение современных методов мониторинга, отметим наиболее перспективные из них, по нашему мнению:

*1) Мониторинг каменных, бетонных и металлических конструкций с помощью амплитудных волоконно-оптических систем*

Волоконно-оптические системы используются для регистрации деформаций и перемещений строительных конструкций (фундаменты,

стены, перекрытия и т.д.), наблюдения за трещинами, появлением предельных деформаций, измерения температуры, влажности и др.

Волоконно-оптическая система мониторинга представляет собой оптический тестер, обеспечивающий непрерывный контроль по принципу «норма-тревога», главным элементом тестера является волоконно-оптический световод. Световоды укладываются и закрепляются на поверхности обследуемой конструкции.

Волоконно-оптическая система мониторинга состоит из трех основных частей:

- источник излучения;
- волоконно-оптический световод;
- измеритель оптической мощности.

Источник излучения, содержащий светодиод, генерирует световой луч, который, проходя по световоду, теряет некоторую часть своего потока вследствие ряда причин и, в частности, в результате внешнего воздействия на световод. Любое механическое или тепловое воздействие на световод порождает геометрическое изменение его формы или микроповреждение, что автоматически влечет изменение мощности светового потока, фиксируемого измерителем.

При достижении заданного критического значения, означающего наличие предельной механической или тепловой нагрузки в каком-либо месте конструкции, волоконно-оптическая система мониторинга сигнализирует оператору через электронный блок обработки сигналов об аварийной ситуации.

При этом даже при наличии разрыва неповрежденные отдельные отрезки световода полноценно работают как датчики при использовании. Потенциально волоконно-оптическая система мониторинга может выполнять более масштабную задачу, чем просто сигнал об аварийной ситуации или ухудшении качества контролируемой строительной конструкции.

Установить волоконно-оптический сигнализатор можно как на стадии строительства, так и на уже эксплуатируемую конструкцию здания.

### *2) Геодезический мониторинг зданий с использованием электронных тахеометров*

При новом строительстве или наблюдении за уже существующими зданиями применяют геодезический мониторинг. Он заключается в проведении наблюдений за осадками фундаментов строящихся или уже построенных зданий, а также зданий, находящихся в зоне строительства. Этот вид мониторинга включает в себя геодезические наблюдения за вертикальными смещениями (осадками) зданий и сооружений. Для этого в цокольной части по периметру обследуемого здания закладываются деформационные (осадочные) марки и производится высокоточное геометрическое нивелирование по ним с использованием прецизионных цифро-

вых нивелиров. Разность высотных отметок осадочных марок, полученных из каждого последующего цикла измерений, позволяет судить об абсолютных величинах деформаций и скорости их изменений. Для получения полной картины состояния обследуемого объекта в целом одновременно с наблюдениями осадок его основания проводится геодезический мониторинг трещин фасадов зданий.

Для обработки полученных данных применяются специальные компьютерные программы, созданные для проведения автоматического мониторинга, непрерывного наблюдения в режиме реального времени за зданиями и сооружениями, котлованами, различными конструкциями.

Подобный метод наблюдений заключается в том, что на обследуемых зданиях, находящихся в зоне деформации, крепят «деформационные» призмы, а в пределах 100 м от здания устанавливают высокоточный электронный тахеометр, имеющий сервопривод и систему автоматического точного наведения на призму. Тахеометр управляется компьютерной программой.

На зданиях, находящихся вне зоны деформации, закрепляют «жесткие опорные» призмы, от которых происходят определение положения тахеометра и его ориентирование.

Данный метод наблюдения за деформациями любых объектов:

- позволяет оперативно получать результаты деформационных наблюдений на данный момент времени в любое время суток;
- дает возможность отследить и проанализировать влияние тех или иных факторов природного или технологического характера на деформационный процесс наблюдаемого объекта;
- требует минимум обслуживающего персонала для обеспечения процесса после монтажа и запуска наблюдательной станции;
- дает одновременное получение плановых и высотных деформаций наблюдаемого объекта.

### *3) Применение лазерного сканера при фотограмметрическом методе измерений деформаций и отклонений строительных конструкций*

При помощи лазерного сканера возможно определять формы, размеры и положения строительных объектов по их фотографическим изображениям.

Применение лазерного сканера при мониторинге строительных конструкций и сооружений является сегодня перспективным направлением. Главное преимущество лазера перед традиционными методами фотограмметрии - сокращение трудозатрат и времени.

Основные направления используемого лазерного наземного сканирования при мониторинге строительных конструкций – получение трехмерных изображений строительных конструкций во времени с фиксированной точки и последующие их сравнение и сопоставление с ранее полученными изображениями. Особенно удобен лазер при съемке сложных

фасадов. Изобразить такие фасады в двухмерном измерении на плане очень трудно. При помощи лазерного сканера получить трехмерное изображение фасада здания и проще, и удобнее. Для получения полной картины производится сканирование фасада с двух-трех сторон с заданных точек. Имея зафиксированные при помощи прибора координаты точек, можно в соответствии с заданной программой получить любые разрезы и сечения.

Метод лазерного наземного сканирования заключается в мгновенном получении координат десятков тысяч точек с объекта, так называемого "облака точек". Луч лазера проходит по поверхности, и точечная картинка мгновенно отображается на компьютере. Скорость сканирования прибора – от 1800 точек в секунду и более. Точность измерения – 4 мм. При этом нет необходимости в непосредственном доступе к объекту, достаточно лишь прямой видимости. Сканирование можно осуществлять с расстояния от 5 до 300 м и более.

Лазерный сканер имеет возможность кругового обзора. При этом прибор вращается самостоятельно. Так, угол сканирования с одной точки по горизонтали может составить 360 градусов. Прибор также имеет возможность осуществлять вертикальное сканирование на 270 градусов.

Дальнейшая обработка полученных результатов на компьютере во времени позволяет осуществлять мониторинг характера развития деформационных процессов во времени.

#### *4) Геодезический мониторинг высотных зданий и сооружений методом спутниковой геодезии с применением системы навигации GPS*

Метод проведения геодезического мониторинга высотных зданий и сооружений, основанный на использовании технологических измерений с помощью спутниковой навигации. Метод предполагает непрерывные наблюдения при помощи GPS-приемников с определенным интервалом. В результате мы получаем пространственные координаты, расположенные на поверхностях конструкций реперов в пределах интервалов измерений.

К достоинствам метода можно отнести:

- высокую точность;
- высокую чувствительность;
- полную автоматизацию на всех этапах работ.

Метод применяется для:

- определения деформаций плотин, мостов, высотных зданий и сооружений;
- площадного мониторинга территорий;
- наблюдения за осадками зданий и сооружений.

### *5) Метод фотофиксации дефектов*

Метод позволяет представлять изображение дефектов в цифровом виде, отслеживать динамику их развития во времени и пространстве с последующей компьютерной обработкой полученных результатов. Цифровое изображение зафиксированного дефекта может быть многократно преобразовано, подвергнуто масштабированию и выведено на печать. Используя накопленную систему в виде графиков, таблиц и цветных фотографических изображений, можно получить реальную и наглядную картину видимых изменений дефектов в конструкциях в процессе длительной эксплуатации зданий.

### *6) Мониторинг с применением динамических методов испытаний*

Такой мониторинг позволяет произвести комплексную оценку состояния как отдельных конструкций, так и всего здания в целом. При этом методе определяются частота и амплитуда собственных колебаний конструкций, что позволяет оценить качество бетона, состояние его армирования, наличие трещин и других дефектов. Для придания колебательного движения используются специальные вибраторы.

### *7) Видеогидростатический мониторинг*

С помощью видеогидростатического счетчика ведется контроль наклона конструкций и крена здания с автоматической записью полученных результатов.

### *8) Мониторинг состояния материала конструкций с помощью химически методов исследования*

Этот вид мониторинга позволяет определить изменения физико-механических свойств исследуемых материалов во времени (металл, бетон, древесина, камень, кирпич).

### *9) Мониторинг с применением приборов и аппаратуры неразрушающего контроля*

Этот метод широко применяется специалистами и достаточно хорошо изучен. Разработано большое число различных приборов неразрушающего контроля.

### *10) Метод моделирования*

Моделирование позволяет прогнозировать поведение как отдельных элементов, так и всего здания в целом на различные периоды времени – 25, 50, 100 лет с учетом изменяющихся неблагоприятных дефектов.

Разработкой современных методов мониторинга занимаются российские и зарубежные специалисты, однако их действия разрознены и в основном направлены на решение отдельных локальных задач. Для комплексного решения этого вопроса необходимо создать центр мониторинга за техническим состоянием зданий в г.Москве с разработкой новых подходов, методик, аппаратуры и подготовкой специалистов.