

## **МОНИТОРИНГ КАК ИНСТРУМЕНТ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИ СЛОЖНЫХ, УНИКАЛЬНЫХ И ВЫСОТНЫХ ОБЪЕКТОВ**

*Хлыстов С. Г., технический директор фирмы "AKKE Finlandia OY" – руководитель департамента мониторинга фирмы "Tieto-Oskari OY" (Финляндия), канд. техн. наук*

*Хандогин А. П., генеральный директор СООО "Крафтверк Вайрусланд" – представительство фирмы "Tieto-Oskari OY" в Республике Беларусь*

*Туровец Г.А., зав. отделом, РУП "Институт БелНИИС"*

*Бурсов Н.Г., научный сотрудник, РУП "Институт БелНИИС"*

### **Введение**

Масштабное строительство в крупных городах нашей страны сопровождается постоянным ростом сложности возводимых объектов и условий, в которых осуществляется их строительство. Современные тенденции – увеличение этажности зданий, уплотнение городской застройки, стесненность строительных площадок, освоение подземного пространства, насыщение инженерными коммуникациями – неизбежно порождают новые задачи, обусловленные как необходимостью обеспечения безопасности и надежности строящихся сооружений, так и снижения негативного техногенного воздействия на существующие постройки и инфраструктуру, которые расположены в зоне влияния строительства.

В связи с этим особое значение приобретают проблема контроля технического состояния несущих конструкций с целью предупреждения возникновения аварийных ситуаций и обоснованность выбора комплекса инженерных мероприятий по их недопущению. При этом очевидно, что наблюдение за техническим состоянием несущего остова зданий и сооружений должно носить систематический характер и позволять осуществлять оценку происходящих изменений на основе количественных критериев, т.е. базироваться на процедурах выявления соответствия фактической прочности, жесткости и устойчивости конструктивных элементов нормативным требованиям.

Значительную часть нового строительства составляют технически сложные, уникальные объекты с высокой степенью ответственности – высотные здания, сооружения с большепролетными конструкциями, связанные в основном с массовым пребыванием в них людей.

Для зданий и сооружений, подверженных риску повреждений от внешних факторов, контроль технического состояния несущих конструкций, а также грамотный анализ данных и принятие корректирующих мероприятий обязательны в течение всего периода возможного проявления деформационного воздействия, что нашло свое отражение в ряде нормативных документов [1, 2].

Актуальность данной темы определяется необходимостью создания обоснованной методики объективной оценки технического состояния несущих конструкций, испытывающих внешние деформационные воздействия, которая позволила бы с высокой достоверностью прогнозировать и предупреждать появление и развитие аварийных ситуаций. При этом следует признать, что на сегодняшний день единой рекомендованной нормами методики, позволяющей эффективно предотвращать возникновение аварийных ситуаций, не существует.

Основным направлением по предотвращению возникновения аварийной ситуации, которому уделяется пристальное внимание, является защита здания или сооружения от обрушения. Актуальность этой проблемы, с одной стороны обусловлена увеличением частоты проявления аномальных воздействий (природного и/или техногенного характера) и разработкой соответствующих мероприятий, направленных на снижение рисков вызванных этим воздействием [3].

С другой – созданием и развитием новых конструктивных систем зданий, поведение которых в реальных условиях изучено не полностью или не изучено совсем.

Следует отметить, что в процессе традиционного проектирования, базирующегося на полувероятностных методах расчетов, применение системы частных коэффициентов безопасности, позволяет создавать некоторые нормируемые резервы (запасы) прочности и деформативности конструктивной системы, что изначально позволяет зданию в определенной мере противостоять появлению и развитию аварийных ситуаций.

### **Предпосылки для проведения мониторинга напряженно-деформированного состояния (НДС) несущих конструкций высотных зданий**

Деформационные воздействия на конструкции высотных зданий, обусловленные изменением состояния и свойств материалов и основания, носят в основном длительный характер. Сегодня наиболее эффективным способом прогнозирования и предупреждения аварийных ситуаций является мониторинг их технического состояния, проводящийся в постоянном режиме, на стадиях строительства и эксплуатации зданий и сооружений. Подобная процедура, позволяющая оценить техническое состояние конструкций для сооружений широкого круга и различного назначения, стала необходимостью совсем недавно – с введением в действие ряда нормативных документов [1 и 2]. Но при этом следует отметить, что нормативная база, регламентирующая методы проведения мониторинга строительных объектов, а также трактовка полученных результатов, проработана сегодня недостаточно. Поэтому становится очевидным актуальность разработки эффективной методики оценки технического состояния несущих конструкций зданий и сооружений на основе данных мониторинга НДС.

В данном случае основой мониторинга становится инженерное обследование технического состояния конструкций объекта, осуществляемое квалифицированными специалистами. В результате инженерного обследования объективно выявляют происходящие в конструкциях изменения за счет визуального и инструментального контроля на подготовительном этапе мониторинга.

Нормативное техническое состояние конструкций объекта в значительной степени определяется неизменностью и стабильностью их геометрических параметров (пространственное положение, пролеты, прогибы, перемещения). Контроль деформаций объекта традиционно осуществляется путем определения развития в основном вертикальных осадок по контуру самого объекта в уровне основания с помощью геометрического нивелирования. При этом очевидно, что учет только вертикальных осадок в уровне основания не отражает реальной картины пространственной деформации всего объекта и изменения НДС его конструкций. Ошибки могут быть особенно велики при значительных габаритах и большой этажности сооружений, когда невозможен доступ к необходимому количеству точек для геометрического нивелирования в нужном объеме.

При сложном пространственном очертании объекта неравномерные деформации основания, вызывая пространственные деформации всего здания, сопровождаются повреждениями элементов его несущих конструкций по всему объему. В подобных случаях полностью выявить характер деформирования основания инструментально практически невозможно, так же как и численно оценить его влияние на НДС несущих конструкций. В такой ситуации непосредственный контроль пространственных деформаций сооружения позволит, напрямую оценивать в ходе мониторинга изменение НДС конструктивных элементов сооружения.

Таким образом, при неравномерных деформациях основания объекта основными параметрами, которые должны контролироваться в ходе мониторинга, являются пространственные деформации сооружения – взаимные перемещения массива его характерных точек в нескольких уровнях по высоте и периметру объекта, которые он испытывает в результате деформационного воздействия со стороны основания и внешних факторов. Наиболее эффективным способом решения данной проблемы является пространственно-координатный мониторинг положения характерных точек объекта с помощью современной аппаратуры, которая в настоящее время способна обеспечить необходимую точность и скорость измерений.

По результатам мониторинга, помимо визуально-нормативной оценки технического состояния конструкций, должен производиться численный анализ их НДС на основании проверочных расчетов с уточненными данными, полученными при обследовании сооружения. Сегодня проектирование и расчет строительных конструкций, как правило, осуществляется численными методами с помощью специализированных вычислительных комплексов, алгоритмы которых в подавляющем большинстве основаны на методе конечных элементов (МКЭ). Данная технология является в настоящий момент основным инженерным инструментом автоматизированного математического анализа НДС строительных конструкций от любого вида внешних воздействий.

В связи с этим важнейшей проблемой безопасной эксплуатации высотных зданий является контроль НДС несущих конструкций. Следует отметить, что в уже построенном, эксплуатируемом высотном здании, доступ к большей части несущих конструкций существенно ограничен, в связи, с чем возникают определенные трудности контроля состояния этих конструкций с помощью традиционных методов визуального и инструментального обследования. Кроме того, в отличие от зданий меньшей этажности, в которых деформирование несущих конструкций связано в основном с неравномерностью просадок различных частей здания, в высотных – существенное влияние на НДС несущих конструкций оказывают ветровые нагрузки, создающие значительную рассеянность мест накопления деформационных повреждений в этих конструкциях.

Для высотных и большепролетных объектов возникает необходимость предварительного выявления (ранней диагностики) изменений НДС конструкций и локализации мест такого изменения с использованием других методов, несвязанных с прямым доступом к несущим конструкциям и не требующих существенных финансовых и трудовых затрат для реализации.

На передний план выдвигается методология системной организации контроля технического состояния несущих конструкций зданий и сооружений на основе автоматизированного мониторинга изменения их НДС с целью своевременного определения степени конструктивной безопасности уникальных объектов. Под конструктивной безопасностью здания или сооружения понимается способность конструкций объекта противостоять его переходу в аварийное состояние. Способность объекта противостоять его переходу в аварийное состояние определяется:

- проектным решением и степенью его реального воплощения при строительстве;
- текущим остаточным ресурсом и техническим состоянием объекта во время эксплуатации;
- степенью изменения объекта (перестройка, перепланировка, пристройка, реконструкция, капитальный ремонт и т. п.), а также специфическими условиями эксплуатации объекта, связанными с высокой механической нагруженностью (статической, усталостной, вибрационной) от технологического и пр. оборудования;
- изменениями условий окружающей среды под воздействием природного, техногенного характера, а также воздействий обусловленных антропогенным ("человеческим") фактором.

Использование автоматизированных систем контроля позволяет выполнять большой объем работ при минимальном использовании труда человека. Это особенно актуально, ввиду отсутствия в настоящее время необходимого количества подготовленных специалистов для проведения большого объема работ традиционными способами и высокой стоимостью обследований.

### **Мониторинг напряженно-деформированного состояния (НДС) несущих конструкций высотных зданий.**

Мониторинг НДС несущих конструкций высотных зданий предполагает установку различных датчиков на элементах конструкций с целью определения степени влияния физического воздействия (влажность, температура) и силового (статическая и динамические нагрузки).

Использование систем мониторинга за техническим состоянием конструкций сооружений различного назначения в процессе их строительства и эксплуатации не является новым направлением в строительной области. Первые системы мониторинга были созданы для наблюдения за конструкциями при землетрясении. Подобные системы способствовали глубокому пониманию природы землетрясений и его влиянию на состояние несущих конструкций. Первые системы мониторинга устанавливались на крупномасштабные конструкции, например, дамбы и протяженные мосты. Кроме того, полученные данные использовались при проектировании зданий и сооружений в зонах с высокой сейсмической активностью. Для примера, Управлением департамента транспорта штата Калифорния (США), в 1977 году была смонтирована система мониторинга моста для оценки его поведения при сейсмическом воздействии. Система состояла из девяти сот постоянно действующих датчиков, установленных на 61 пролете. Европейские строители для определения прогибов конструкций применяют, как правило, оптоволоконные датчики деформации. Подобные системы сложны с технической точки зрения и весьма дороги. Например, один акселерометр с преобразователем стоит несколько сотен евро, а стоимость всей системы сбора информации для каждого датчика варьируется от 1000 до 2000 Евро [4].

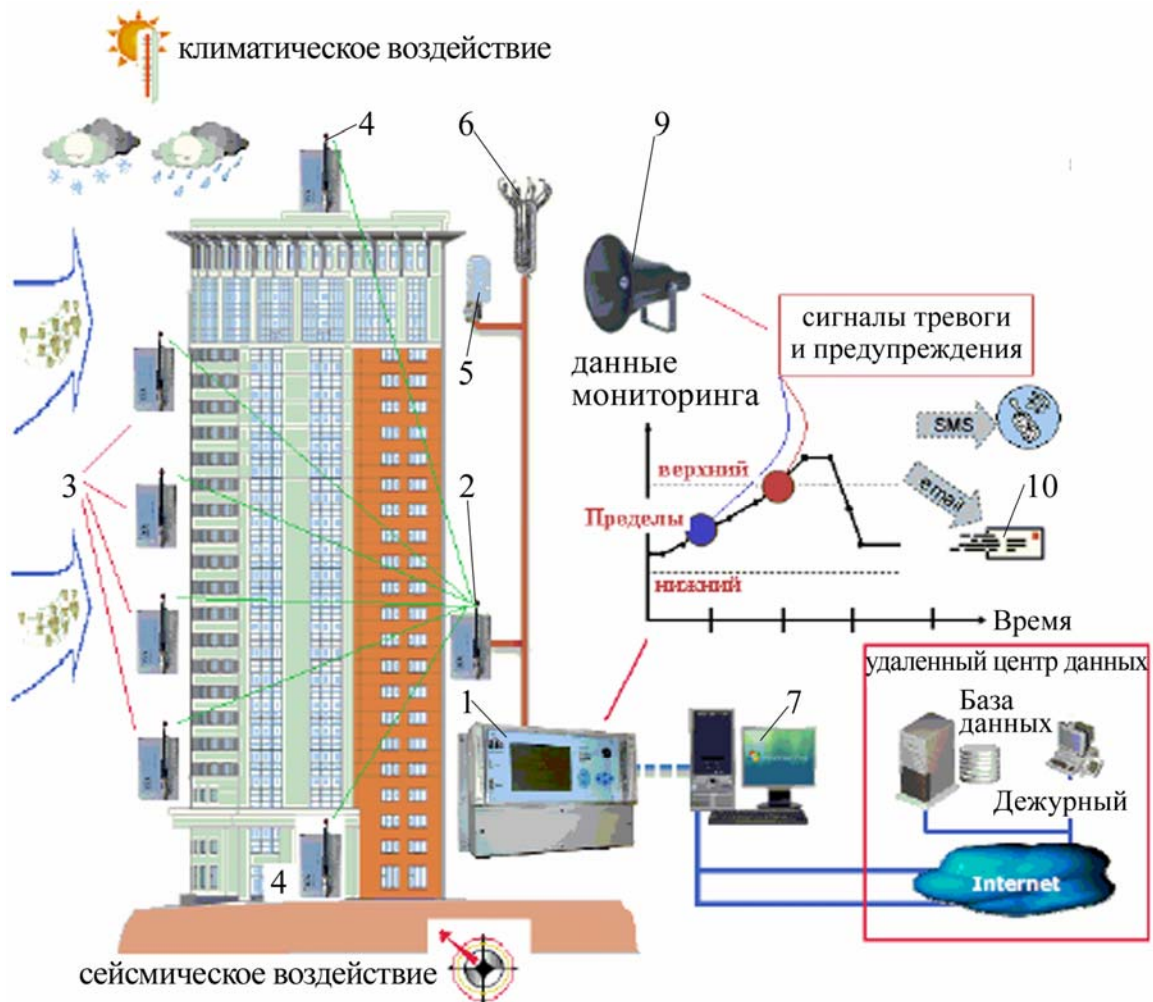
Развитие систем мониторинга позволяет снизить их общую стоимость и упростить технологию сбора информации о состоянии несущих конструкций.

Основные направления развития систем мониторинга:

- увеличение функциональности и уменьшение количества компонентов системы;
- увеличение мобильности в развертывании и монтаже за счет перехода на беспроводные сети;
- рост вычислительной мощности центральных узлов сбора и анализа данных о состоянии объекта мониторинга;
- развитие методов и средств коммуникации с удаленными серверами баз данных (БД) для накопления статистического массива информации по различным объектам мониторинга.

Стационарная автоматизированная станция мониторинга, устанавливаемая непосредственно на объекте, является наиболее оптимальным решением, позволяющим уже на ранней стадии фиксировать и локализовать изменение НДС несущих конструкций. Подобное комплексное решение экономически оправдано и обеспечивает требуемую достоверность получаемой информации, а также позволяет формировать на ее основе базы данных на весь период строительства и эксплуатации объекта. Стационарная автоматизированная станция мониторинга повышает безопасность эксплуатации уникального объекта и сохраняет самое ценное – человеческую жизнь. Подобное комплексное решение на основе системы автоматического мониторинга АККЕ (производитель фирма "Tieto-Oskari OY", Финляндия) в настоящее время используется при строительстве одной из первых высоток Минска на пр. Победителей, 7. Работа по формированию базы данных в ходе возведения этого объекта выполняется совместно со специалистами РУП "Институт БелНИИС".

Ведущая роль мониторинга за НДС конструкций сложных и уникальных объектов, как на стадии строительства, так и при эксплуатации очевидна: установка стационарных автоматизированных станций мониторинга позволит обеспечить безопасностью и постоянный контроль состояния несущих конструкций в течение всего срока эксплуатации и недопущения аварийных ситуаций.



- 1 – центральный блок; 2 – радио – модем; 3 – сенсоры; 4 – акселерометры;  
 5 – температурный сенсор; 6 – сенсор направления и силы ветра;  
 7 – ПЭВМ с программным комплексом; 8 – система местного оповещения;  
 9 – удаленный сервер и БД (база данных) с выходом на пульт дежурного Министерства по чрезвычайным ситуациям

Рисунок 1 – Принципиальная схема мониторинга НДС несущих конструкций высотного здания по пр. Победителей, 7 (г. Минск)

#### Список использованных источников:

1. ТКП 45–3.02–108–2008 (02250) "Высотные здания. Строительные нормы проектирования".
2. ТКП 45–1.03–109–2008 (02250) "Высотные здания из монолитного железобетона. Правила возведения".
3. Рекомендации по расчету устойчивости высотных зданий с поперечными монолитными стенами к прогрессирующему обрушению. – Минск: РУП "Институт БелНИИС", 2010.
4. Горпинченко, В.М., Егоров, М.И. Мониторинг эксплуатационной пригодности особо ответственных, сложных и уникальных сооружений // Промышленное и гражданское строительство. – 2004. – № 10.