

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОНТРОЛЬ КОНСТРУКТИВНОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ УНИКАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ,
ВКЛЮЧАЯ ВЫСОТНЫЕ И ШИРОКОПРОЛЕТНЫЕ**

В.В. ГУРЬЕВ, заместитель генерального директора, д.т.н., профессор;

В.М. ДОРОФЕЕВ, руководитель отдела, канд. физ.-мат. наук;

Д.А. ЛЫСОВ, гл. инж.; Н.В. НАЗЬМОВ, зав. сектором.

Государственное унитарное предприятие города Москвы Московский Научно-исследовательский и проектный институт типологии, экспериментального проектирования (ГУП МНИИТЭП), Москва, Столешников пер., д. 13/15, тел. 692-09-10, 692-78-85, 692-43-39, e-mail: LD.mnipitep@rambler.ru

Рассмотрены вопросы повышения безопасности эксплуатации высотных и большепролетных зданий и сооружений за счет организации на них автоматизированных станций мониторинга технического состояния несущих конструкций. Приведен состав и назначение оборудования программно-измерительного комплекса стационарной станции мониторинга. Приведена информация об опыте проектирования стационарных станций мониторинга для более чем 35 высотных объектов, а также для Крытого конькобежного центра в Крылатском (ККЦ) в г. Москве и Олимпийских объектов в г. Сочи. Рассмотрены конструктивные особенности Крытого конькобежного центра в Крылатском, и произведен выбор несущих конструкций сооружения, для которых не-обходим мониторинг технического состояния.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: мониторинг, напряженно-деформированное состояние, автоматизированная станция мониторинга, опыт проектирования.

За последние шесть лет в нашей стране и в мире произошел ряд обрушений зданий, привлекая повышенное внимание, как общественности, так и компетентных органов к проблеме обеспечения конструктивной (механической в определении Технического регламента о безопасности зданий и сооружений) безопасности эксплуатируемых строительных объектов.

Приведем некоторые из них: 2004г. - разрушение покрытия купола здания «Трансвааль парка» в г. Москве; 2005г. - обрушение покрытия терминала в

парижском аэропорту Руасси - Шарль де Голль; 2005г. - обрушение кровли в бассейне "Дельфин" в городе Чусовой Пермского края; 2006г. - обрушение покрытия закрытого катка в г. Бад-Райхенхаль в Германии; 2006г. - обрушение покрытия Басманного рынка парка» в г. Москве; 2009г. – обрушение покрытия спорткомплекса в городе Благовещенске; 2010г. - обрушение покрытия стадиона «Метродом» в Миннеаполисе США; 2011г. - обрушение кровли спорткомплекса в Выборгском районе Петербурга.

Список таких трагических примеров можно еще продолжить - это только одни из самых нашумевших за последнее время катастроф. Анализ крупных аварий свидетельствует о том, что некоторые из этих объектов, построенные совсем недавно, не обладали необходимой конструктивной безопасностью.

Конструктивная безопасность здания или сооружения в соответствии с ГОСТ Р 53778-2010 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния», который входит в перечень национальных стандартов, в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона №384 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» понимается, как комплексное свойство конструкций объекта противостоять его переходу в категорию аварийного состояния, определяемое: проектным решением и степенью его реального воплощения при строительстве; текущим остаточным ресурсом и техническим состоянием объекта; степенью изменения объекта (старение материала, перестройки, перепланировки, пристройки, реконструкции, капитальный ремонт и т.п.) и окружающей среды как природного, так и техногенного характера. Из определения конструктивной безопасности здания или сооружения следует, что если при проектировании объекта закладывается определенная конструктивная безопасность, определяемая выбранным конструктивным решением и действующими нормативными документами по проектированию таких объектов, то при сдаче объекта в эксплуатацию имеем уже другую конструктивную безопасность объекта, определяемую тем, насколько точно и полно строительная организация реально воплотила проект. В процессе же эксплуатации объекта происходят изменения в самом объекте, например, происходит старение материала объекта, коррозия металлоконструкций и др., происходят его объемно-планировочные изменения, связанные с перестройками, пристройками, реконструкциями и др., изменяется и окружающая среда, например, могут меняться физико-механические параметры грунта основания, уровень поверхностных вод, возникать динамические воздействия и медленные движения грунта в связи с расположенным по близости новым строительством надземных и подземных сооружений. Все эти изменения ведут к изменениям конструктивной безопасности объекта, которую необходимо контролировать.

Как отечественный, так и мировой опыт указывает на то, что для большей части зданий и сооружений достаточно регулярно проводить обследование этих объектов. Однако существует ряд зданий и сооружений, для которых проводить достаточно регулярные обследования конструкций крайне сложно, трудоемко и дорого. К таким объектам, прежде всего, относятся высотные здания и крупные здания с большепролетными конструкциями. Следует отметить, что в последнее время в Москве интенсивно возводятся именно такие объекты.

В эксплуатируемом многофункциональном высотном здании или сооружении с большепролетными конструкциями доступ к большей части конструкций существенно ограничен, поэтому возникают определенные трудности контроля состояния этих конструкций с помощью традиционных методов визуального и инструментального обследования. Многие зоны концентрации напряжений, в

которых процессы усталости и коррозии развиваются наиболее интенсивно, могут быть просто недоступны для обследования. Кроме того, в высотных зданиях существенное влияние на напряженно-деформационное состояние несущих конструкций оказывают крены и ветровые нагрузки, что создает большую рассеянность мест накопления деформационных напряжений.

В связи с этим для таких зданий возникает необходимость автоматизации процесса измерения. При автоматизации мониторинга должны использоваться неразрушающие методы контроля. При разработке автоматизированных систем мониторинга напряженно-деформационного состояния несущих конструкций уникальных объектов широкое применение в последнее время нашли динамические методы, позволяющие выявить на ранней стадии изменения напряженно-деформированного состояния конструкций и локализовать место такого изменения в пределах зоны небольшого строительного объема. Такой контроль позволяет отследить возникновение и развитие не только внешних, но и внутренних, скрытых дефектов и повреждений конструкций. И еще очень важная особенность, что с помощью динамических методов мониторинга можно контролировать весь объем конструкций здания. Контроль отдельных параметров ограниченного числа несущих элементов, часто мало говорит о реальном техническом состоянии здания. В ГУП МНИИТЭП разработана специальная стационарная автоматизированная станция мониторинга напряженно-деформационного состояния несущих конструкций высотных зданий (СМДС-В), в основу которой положена методика динамического зондирования и ранней диагностики деформационного состояния несущих конструкций, основанная на анализе изменения передаточных функций, построенных для различных по высоте участков здания. На основе этой методики удастся выявить на ранней стадии изменение напряженно-деформированного состояния конструкций здания, и локализовать место такого изменения в пределах количества этажей здания между соседними точками измерения [1; 2]. Наш институт одним из первых в строительном комплексе города занялся вопросами обеспечения конструктивной безопасности функционирования зданий и сооружений, поэтому все эти предложения, как правило, адресованные Мэру города, были направлены в наш институт на заключения. По нашему предложению в МГСН 4.19-2005 «Временные нормы и правила проектирования многофункциональных высотных зданий и зданий-комплексов в городе Москве» было внесено требование об обязательной установке на таких объектах стационарных автоматизированных станций мониторинга. На сегодняшний момент принят Технический регламент о безопасности зданий и сооружений (Федеральный закон №384), который вводит ряд требований по механической безопасности зданий и сооружений на протяжении всего цикла их жизнедеятельности, в том числе и в период эксплуатации. Разработан ГОСТ Р 53778-2010 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния», который входит в перечень национальных стандартов, в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований технического регламента. В ГОСТе также указаны требования к разработке стационарных автоматизированных станций.

Станция СМДС-В представляет собой модульную систему, отдельные элементы которой распределены по зданию в соответствии со специально разработываемым для объекта техническим проектом и руководством по эксплуатации.

Станция разработана с применением современных высоких технологий и требований эргономики, характеризуется высокой надежностью и безопасностью, обладает высокой точностью и чувствительностью наблюдений в широ-

ком динамическом и частотном диапазонах. Модульная структура станции позволяет производить наращивание измерительных модулей в зависимости от конфигурации и размеров объекта, станция обладает повышенной живучестью в аварийных ситуациях за счет устойчивости к перегрузкам и наличия полностью автономного питания. Количество измерительных модулей позволяет применять станцию на зданиях практически любых размеров. Модульная схема, по которой построена станция, позволяет изменять структуру размещения измерительных модулей станции в зависимости от конкретного объекта и целей мониторинга, количество, состав, типы применяемых датчиков и места их установки. Станция не содержит устройств возбуждения динамических нагрузок на объекте. При работе станции в режиме одновременной регистрации во всех изучаемых точках в качестве динамических нагрузок используются микросейсмы естественного и промышленного происхождения. При получении передаточных функций отдельных частей здания используются динамические воздействия, созданные ударом (реализация широкополосного импульса) или специальными техническими установками в виде мобильных устройств возбуждения динамической нагрузки для неразрушающих методов контроля строительных конструкций [3]. В основу работы такой станции положены, разработанные ГУП МНИИТЭП, способы определения изменений напряженно-деформированного состояния конструкций зданий или сооружений (Патенты Российской Федерации № 2254426, № 2292433, № 2321836, № 2341623), основанные на анализе передаточных функций различных частей здания и периодов собственных колебаний отдельных строительных конструкций. Используемые способы позволяют не только выявить факт изменения напряженно-деформированного состояния конструкций, но и выявить конструкцию, локализовать ту часть здания или сооружения, где произошли эти изменения. Станция СМДС-В состоит из двух основных частей, функциональные характеристики которых определяются их назначением – аппаратно-измерительной части и компьютерно-информационного центра. Аппаратурно-измерительная часть станции распределена по объекту мониторинга, в ее состав входят:

– Цифровые трехкомпонентные акселерометры ЦТА-СМ, предназначенные для измерения во времени ускорений несущих конструкций по трем взаимно ортогональным направлениям в стационарных пунктах наблюдений с последующей автоматической обработкой информации. Акселерометры стационарно смонтированы и одинаково ориентированы на несущих конструкциях здания через 3 – 5 этажей (включая подземные) на одной вертикальной оси.

– Цифровые трехкомпонентные сейсмометры ПРДП-СМ, предназначенные для измерения во времени смещений несущих конструкций зданий по трем взаимно ортогональным направлениям с последующей компьютерной обработкой информации.

– Цифровые наклонометры двухкоординатные ЦНД-СМ, предназначенные для измерения наклонов основания здания. Сеть наклонометров располагается в одной плоскости основания здания, их количество зависит от формы здания в плане.

Компьютерно-информационный центр станции устанавливается в помещении, предназначенном для управления работой станции обслуживающим персоналом, к которому подводятся кабели от аппаратурно-измерительной части станции, в его состав входят:

– Персональный компьютер настольного или переносного типа с операционной системой Windows 2000 или Windows XP, предназначенный для установки управляющего станцией программного обеспечения «Высота» и управления работой станции;

– Адаптер связи АС-СМ, представляющий собой интерфейсный модуль, обеспечивающий аппаратный обмен данными между модулями ЦТА-СМ, ПРДП-СМ, ЦДН-СМ и компьютером; синхронную привязку аналого-цифрового преобразования информации модулей, частоту дискретизации; контроль и включение в работу заданных компьютером модулей;

– Монитор и принтер предназначенные для визуализации информации и представления в визуальном и печатном виде результатов работы станции.

– Специализированное программное обеспечение "Высота", состоящее из исполняемого модуля «Высота», драйвера сопряжения LPT-адаптер и набора служебных библиотек. Исполнительный модуль «Высота» включает: управляющую программу, пользовательский графический интерфейс, программу цифровой предобработки сигналов, средства автоматического и интерактивного анализа, программу представления результатов анализа.

Управляющая программа обеспечивает работоспособность и функционирование станции в целом. В задачи управляющей программы входят: инициализация и подготовка технических средств станции к работе; конфигурирование и тестирование системы; управление вводом цифровой информации в персональный компьютер. Пользовательский интерфейс программы обеспечивает удобное графическое представление (визуализацию) многоканальной информации в режиме реального времени и обеспечен комфортной справочной системой и контекстной помощью. Для оператора, проводящего обработку и анализ зарегистрированной информации, предоставляется широкий дополнительный выбор инструментов для документирования, архивирования и конвертации данных.

Цифровая обработка включает в себя два основных этапа:

- этап предварительной обработки зарегистрированных сигналов, с целью улучшения и выделения “полезной” части сигнала, включающий в себя алгоритмы селекции, нормирования, полосовой фильтрации и спектрального анализа;
- этап расчета основных динамических параметров зарегистрированных сигналов, получение передаточных функций и величин наклона здания.

Программа представления результатов анализа реализует визуальное и печатное представление результатов анализа полученной на станции информации.

Если говорить о методических основах, положенных в основу разработки автоматизированных систем мониторинга, то концептуально методология построения систем мониторинга технического состояния несущих конструкций для высотных и большепролетных зданий и сооружений, несмотря на различия их конструктивных решений, основывается на следующих принципах[4]:

1. На основе анализа возможных природно-техногенных воздействий, возможных некавалифицированных действий или отсутствия необходимых действий обслуживающего персонала, конструктивных особенностей объекта разрабатываются модели опасности для объекта.

2. На основе моделей опасности, знаний в области строительной механики (в том числе математического и физического моделирования) и работы строительных конструкций производится анализ поведения конструкций объекта при реализации таких опасностей и составляется методика проведения мониторинга, а так же перечень частей и элементов конструкций объекта, которые необходимо контролировать. Для каждой части и каждого элемента конструкций составляется перечень контролируемых параметров.

3. На основе известных или специально разрабатываемых способов и методов контроля параметров конструкций, аппаратуры и оборудования для контроля составляется технология проведения мониторинга технического состояния упомянутых частей и элементов конструкций объекта.

4. На основе опыта обследования и анализа поведения строительных конструкций, учета скоростей развития негативных процессов в конструкциях и степени возможного допущения изменения их напряженно-деформированного состояния разрабатывается регламент проведения мониторинга.

В настоящее время запроектировано более 35 объектов на основе станции СМДС-В или с ее применением. Такие станции запроектированы на высотных объектах ММДЦ «Москва-Сити» (участки №№ 1, 4, 10, 12, 14, 15), на высотных зданиях других районов города (на Ленинском, Мичуринском и Олимпийском проспектах, в Строгино, Тропарево-Никулино, на Ходынской ул. и др.) С ее использованием запроектированы стационарные станции мониторинга на таких объектах как Крытый конькобежный центр в Крылатском, Общественная зона для обслуживания пассажиров транспортно-пересадочного узла и пешеходно-травалаторной связи ММДЦ «Москва-Сити», монумент «Казак-Ели» в г. Алма-Ата Республика Казахстан, Олимпийские спортивные объекты в г. Сочи (Большая ледовая арена для хоккея с шайбой, Ледовый дворец спорта, Центральный олимпийский стадион, Крытый конькобежный центр, Трамплинный комплекс). В настоящее время монтаж станции СМДС-В в ее описанном варианте выполнен на Многофункциональном административно-деловом комплексе ММДЦ «Москва-Сити», участок 10, блок «С». Места установки приборов станции по этажам здания представлены на рис. 1. На рис. 2 показаны места установки приборов на фундаментной плите. Рис. 3 дает представление о реальном размещении в измерительных пунктах приборов. На рис. 4 приведен реальный вид компьютерно-информационного центра станции. В настоящее время на объекте завершены комплекс монтажных и пусконаладочных работ и начинается период опытной эксплуатации станции.

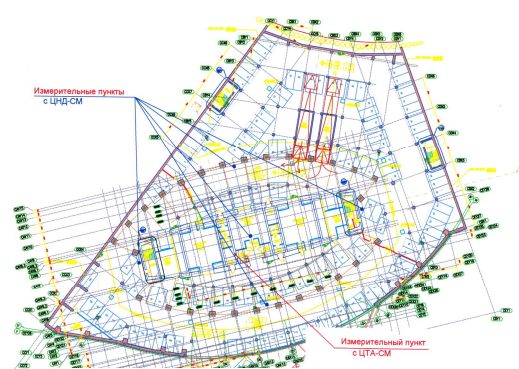
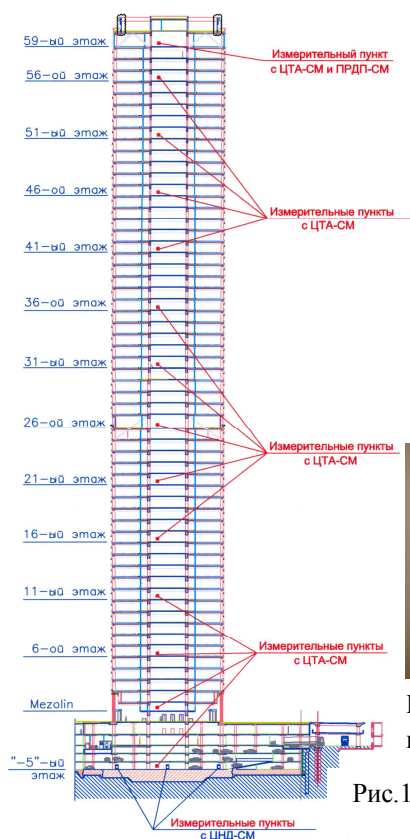


Рис.2. Места установки приборов на фундаментной плите



Рис.3. Размещение прибора в измерительном пункте

Рис.4. Компьютерно-информационный центр

Рис.1. Места установки приборов станции по этажам здания

Расширенный вариант стационарной автоматизированной станции мониторинга технического состояния объекта использующий станцию СМДС-В установлен на здании спортивного комплекса «Крылатское» в г. Москве, представляющего собой крупное спортивное сооружение с большепролетными конструкциями. Для несущих строительных конструкций ККЦ, их элементов, соединений и узлов осуществляется контроль следующих параметров: уровень усилия Л-образных стоек и крен стоек в сторону вант; уровень натяжения каждой цепной оттяжки, а также в связи с аварийным состоянием этих конструкций в настоящее время принято решение о непрерывном наблюдении за состоянием этих конструкций на основе акустической эмиссии; уровень натяжения каждой ванты и их коррозионное состояние; уровень напряжений и усилий в листовых растянутых элементах (щеках) 19 узлов крепления вант (серег); уровень осадки и уровень неравномерности осадки (крен) главной железобетонной опоры; напряженно-деформированное состояние полукольцевой балки и ее узлов, пространственные координаты ее 18 сборных элементов и уровень колебаний при акустических воздействиях; напряженно-деформированное состояние ферм, их температурно-влажностный режим, коррозионное состояние ее металлических конструкций и уровень колебаний при акустических воздействиях; напряженно-деформированное состояние несущих железобетонных колон, уровень осадки и уровень неравномерности осадки (крен) колон; для кровли, в том числе ее утеплителя, контролируется наличие или отсутствие повреждений (протечек), устанавливается площадь замачивания утеплителя; для всесторонне подвижных опор ферм покрытия контролируется смещение подвижных частей опор относительно их неподвижных частей в радиальном и тангенциальном направлениях, а также пространственные координаты вдоль радиальных и тангенциальных осей колон.

На станции мониторинга для ККЦ впервые реализована частичная беспроводная передача данных на основе сверхширокополосных приемопередатчиков. По сравнению со стандартными узкополосными сигналами (например, применяемыми в технологии Wi-Fi) сверхширокополосные сигналы обладают высокой устойчивостью работы в сложных средах с многолучевым распространением, какими являются большепролетные здания и сооружения.

Беспроводная система связи относится к новому поколению сверхширокополосных беспроводных сетей, удовлетворяющих международным требованиям по диапазону и уровню электромагнитного излучения и имеющих значительные преимущества перед предыдущим поколением по таким характеристикам, как масса и габариты; стоимость; экологическая безопасность; надежность; время автономной работы без внешнего источника питания и без обслуживания (до 5–10 лет); электромагнитная совместимость; защищенность от несанкционированного доступа; максимально допустимое количество устройств в сети.

Л и т е р а т у р а

1. *В.В. Гурьев, В.М. Дорофеев.* Конструктивная безопасность несущих конструкций высотных и широкопролетных сооружений/ Материалы IV Межд. конф.-выставки «Уникальные и спец. технологии в строительстве». UST-Build 2007.–М., 2007.– С. 50-52
2. *В.М. Дорофеев, В.Г. Катренко, Н.В. Назьмов, Д.А. Лысов.* Автоматизированная станция мониторинга технического состояния конструкций здания на объектах города / Промышленное и гражданское строительство. – М., 2008. - №12. – С. 24-26.
3. *В.М. Дорофеев, В.Г. Катренко.* Мобильное устройство возбуждения динамической нагрузки для неразрушающих методов контроля строительных конструкций/ Промышленное и гражданское строительство.– М., 2009.- №12.– С. 35-36.
4. *Дорофеев, В.М.* Вопросы безопасности эксплуатации спортивных сооружений с большепролетными конструкциями / Строительство и недвижимость. –М., 2007. - № 22. – С. 20-23.