

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СТАНЦИИ МОНИТОРИНГА ДЕФОРМАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ (СМДС) И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ НА СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТАХ

В последние годы во многих городах России развернуто широкомасштабное строительство высотных зданий и уникальных большепролетных сооружений. Такие здания и сооружения относятся к категории объектов, аварийное состояние которых может вызвать непредсказуемые катастрофические последствия. Поэтому на каждом таком здании или сооружении должна быть реализована комплексная система безопасности их функционирования.

С учетом произошедших (как у нас в стране, так и за рубежом) внезапных обрушений ряда строительных объектов этой категории в системе обеспечения комплексной безопасности на одно из первых мест вышли вопросы повышения их конструктивной безопасности.

Конструктивная безопасность здания или сооружения определяется проектным решением и степенью его реального воплощения при строительстве, текущим остаточным ресурсом и техническим состоянием объекта, степенью таких изменений объекта, как старение материала, реконструкция, перепланировка, пристройка, капитальный ремонт и т. п. Кроме этого, конструктивная безопасность здания или сооружения определяется степенью изменений окружающей среды, имеющих как естественный, так и техногенный характер.

Потребность в решении проблемы конструктивной безопасности зданий и сооружений вызвала острую необходимость в системной организации контроля их текущего технического состояния.

При этом следует учесть, что обрушение здания происходит по одной из двух схем: либо с постепенным накоплением напряжений и деформаций и последующим разрушением несущих конструкций, либо быстро (прогрессирующее разрушение) при кратковременном, но существенном перегрузе важного несущего элемента конструкции [1].

Защитой от прогрессирующего разрушения в настоящее время может быть только надежный расчет несущих элементов конструкций и соответствующие конструктивные меры. При такой схеме разрушения не могут помочь никакие системы контроля, так как если процесс начался, то, в силу его быстротечности, подобной взрыву, даже предварительное обнаружение не дает возможности предпринять какие-либо действия по его предотвращению.

В любом случае, то есть при любой возможной схеме разрушения, необходима ранняя диагностика изменений напряженно-деформированного состояния несущих конструкций. Поэтому основой для организации контроля текущего технического состояния зданий и сооружений, то есть, в конечном счете, для обеспечения их конструктивной безопасности,

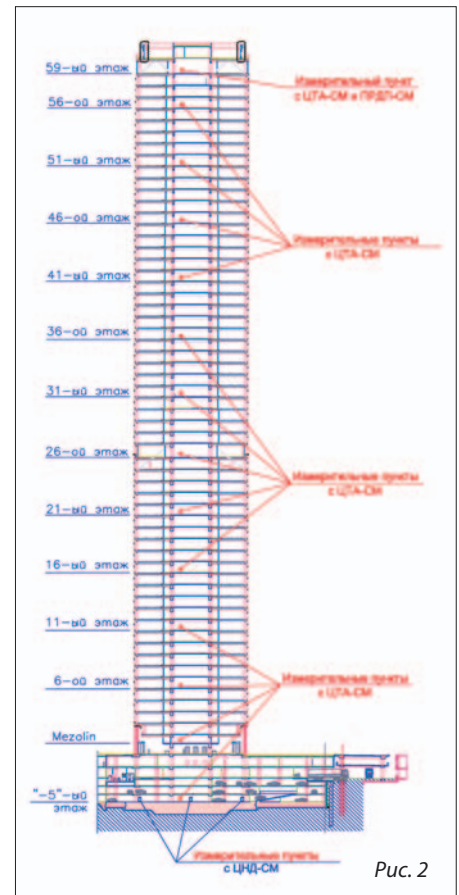


Рис. 2

по нашему мнению, продолжает оставаться периодическое проведение обследований их технического состояния. Обследование технического состояния зданий и сооружений включает в себя обследование грунтов основания и строительных конструкций на предмет выявления изменения свойств грунтов, деформационных повреждений, дефектов несущих конструкций и определения их фактической несущей способности.

Понятно, что контроль отдельных параметров ограниченного числа несущих элементов зачастую мало говорит о реальном техническом состоянии здания. В то же время регулярное проведение полного обследования технического состояния здания или сооружения — процесс трудоемкий и дорогостоящий, поэтому желательно, чтобы система контроля могла обеспечивать локализацию мест изменений напряженно-деформированного состояния несущих конструкций.

В результате, появились технические предложения, большинство из которых связано с проведением мониторинга технического состояния зданий и сооружений. Под мониторингом понимается си-



Рис. 1



Фото 1

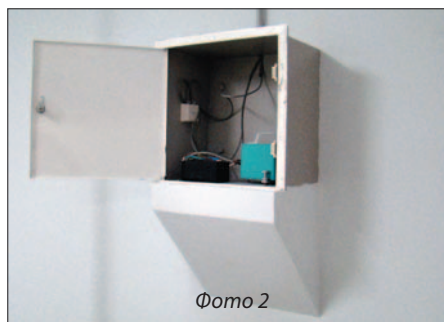


Фото 2



Фото 3

стема мероприятий по наблюдению и контролю, проводимых по определенной программе для выявления объектов, на которых произошли значительные изменения напряженно-деформированного состояния несущих конструкций и для которых необходимо обследование их технического состояния.

Организация мониторинга технического состояния зданий и сооружений требует, в числе прочего, выбора (или создания) соответствующей технической системы измерений всех необходимых для достижения целей мониторинга параметров.

При формулировании требований к технической системе измерений, ее составу и методике измерений для контроля текущего технического состояния зданий и сооружений, на базе которых должно приниматься решение о выборе той или иной конкретной системы (прибора или устройства), необходимо учитывать:

- цели проведения мониторинга;
- скорости протекания процессов и их изменение во времени;
- продолжительность измерений и их периодичность с учетом технического состояния объекта;
- ошибки измерений, в том числе за счет изменения состояния окружающей среды, а также влияния помех и аномалий природно-техногенного характера;
- возможность обеспечить при проведении длительных наблюдений и изменении внешних условий либо стабильность системы измерений и параметров применяемых средств измерений, либо учет изменения условий и внесение соответствующих компенсационных поправок (температурных, влажностных и т. п.);
- возможность обеспечить достоверность и полноту получаемой информации для выдачи обоснованного заключения о текущем техническом состоянии здания (сооружения) и краткосрочного прогноза о его состоянии на ближайший период;
- сопоставимость получаемых данных с расчетами и данными, ранее полученными для объекта.

Удовлетворяющая вышеизложенным требованиям система контроля текущего технического состояния высотных зданий и большепролетных сооружений в настоящее время представляется в виде стационарно

расположенной на здании и работающей в автоматизированном режиме многоканальной станции мониторинга, имеющей следующую структуру:

- первичные преобразователи (датчики);
- система сбора и первичной обработки данных измерений;
- комплекс программного обеспечения для обработки данных, отображения результатов мониторинга, оценки текущего технического состояния объекта и выработки рекомендаций по его дальнейшей эксплуатации.

Состав и расстановка датчиков станции мониторинга должны позволять с заданной периодичностью осуществлять диагностику и локализацию изменений напряженно-деформированного состояния несущих конструкций и других параметров, влияющих на конструктивную безопасность здания.

При выборе режима мониторинга следует учесть, что, как указано выше, при прогрессирующем разрушении не эффективна никакая система контроля, а при первом способе разрушения, исходя из опыта, нет необходимости вести непрерывный контроль деформаций конструкций, достаточно вести его с некоторой периодичностью.

Станция должна быть пригодной для мониторинга различных типов зданий и сооружений и, следовательно, открытой при необходимости изменения количества, состава и типов применяемых датчиков.

ГУП МНИИТЭП совместно с Российской инженерной академией (РИА), НТЦ «Стройинновация», МП «Сервиспрогресс» и рядом других организаций Москвы разработал автоматизированную стационарную станцию мониторинга деформационного состояния высотных зданий СМДС, удовлетворяющую перечисленным требованиям.

Следует учесть, что в Москве в целях обеспечения безопасной эксплуатации высотных зданий в утвержденные в конце 2005 г. «Временные нормы и правила проектирования многофункциональных высотных зданий и зданий-комплексов в городе Москве» (МГСН 4.19-2005) введено требование об обязательной установке на таких объектах стационарных станций мониторинга технического состояния конструкций. Станция разработана с целью реали-

зации этих требований. Межведомственная комиссия по обеспечению безопасности и антитеррористической защищенности высотных сооружений города Москвы рекомендовала ее к применению на высотных объектах города.

Задачей подобных станций является ранняя диагностика изменений напряженно-деформированного состояния конструкций, которые могут привести к негативным процессам в конструкциях и к переходу объекта в аварийное состояние. Кроме этого, станция контролирует крены здания, предельные ускорения его верхних этажей и в некоторых вариантах осуществляет синхронную запись ускорений элементов конструкций при динамических воздействиях выше заданного уровня с целью совершенствования методов расчета подобных зданий на динамические воздействия.

В основу работы станции положены разработанные нашим институтом способы определения изменений НДС конструкций зданий или сооружений, основанные на анализе передаточных функций различных частей здания. Технический результат изобретений заключается в определении конкретной зоны в здании или сооружении, где произошли изменения напряженно-деформированного состояния конструкций. Используемые способы позволяют не только выявить факт изменения напряженно-деформированного состояния конструкций, но и локализовать ту часть здания (в пределах трех-пяти этажей), где произошли эти изменения.

Для зданий и сооружений сложной пространственной формы их подразделяют вертикальными сечениями на части простой пространственной формы и предусматривают разделение по высоте на зоны от 3 до 5 этажей отдельно для каждой такой части. На границе каждой из зон стационарно размещают трехкомпонентные акселерометры. Перед регистрацией колебаний на границе зон осуществляют динамическую нагрузку, например, неупругий удар в виде широкополосного импульса с частотным диапазоном, перекрывающим область собственных колебаний исследуемой зоны здания или сооружения.

Определяются передаточные функции для каждой из исследуемых зон как отношение спектров мощности колебаний



Фото 4



Фото 5

одновременно зарегистрированных сигналов в двух точках — на границах соседних зон (для зданий и сооружений сложной пространственной формы передаточные функции строятся также и по горизонтальным направлениям).

Станции разрабатываются с применением современных технологий и требований эргономики, обладает высокой надежностью и безопасностью, укомплектованы высокочувствительными датчиками, обеспечивают высокую точность измерений в широком динамическом и частотном диапазонах [2]. Модульная структура позволяет производить наращивание измерительных модулей в зависимости от конфигурации и размеров объекта; обладает повышенной живучестью в аварийных ситуациях за счет устойчивости к перегрузкам и наличия автономного питания.

Станции не должны содержать устройств возбуждения динамических нагрузок на объект. При работе станции в режиме одновременной регистрации во всех изучаемых точках в качестве динамических нагрузок используются колебания грунта естественного и техногенного происхождения. При получении передаточных функций отдельных частей здания используются динамические воздействия, создаваемые ударом (релизными широкополосного импульса) или техническими установками (реализация широкополосного импульса или синусоидальных колебаний изменяемой частоты).

На подобных станциях реализуются: цифровая форма регистрации колеба-

ний и кренов в режиме реального времени, синхронная запись трех компонент вибрационных процессов по всем модулям с частотой дискретизации 200 Гц, синхронная запись трех компонент вибрационных процессов по группам не более трех модулей с частотой дискретизации 400 Гц, малая мощность энергопотребления модулей (< 0,25 Вт).

Данные станции представляют собой модульную систему, отдельные элементы которой распределены по объекту мониторинга в соответствии со специальным разработанным для объекта техническим проектом. Она состоит из двух основных частей, функциональные характеристики которых определяются их назначением, — аппаратно-измерительной части и компьютерно-информационного центра.

Аппаратно-измерительная часть базового комплекта СМДС 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 из-

мерения во времени смещений несущих конструкций зданий по трем взаимно ортогональным направлениям с последующей компьютерной обработкой информации; сейсмометр, установленный на верхнем этаже здания, предназначен для измерения периодов и логарифмического декремента собственных колебаний здания, а также определения максимальных перемещений при предельных штормовых нагрузках;

- цифровые наклономеры двухкоординатные ЦНД-СМ, предназначенные для измерения наклонов основания здания; сеть наклономеров располагается в одной плоскости основания здания, их количество зависит от формы здания в плане;
- кабельная сеть, представляющая собой структурированную телекоммуникационную кабельную систему (СКС) для передачи данных с модулей ЦТА-СМ, ПРДП-СМ и ЦНД-СМ в компьютерно-информационный центр по 2-парному кабелю «витая пара» (типа UTP-2) в стандарте интерфейса RS-485 (имеется модификация беспроводной станции).

Компьютерно-информационный центр станции устанавливаются в помещении, предназначенном для управления работой станции обслуживающим персоналом. К помещению подводятся кабели от аппаратно-измерительной части станции.

В состав компьютерно-информационного центра входят:

- персональный компьютер настольного или переносного типа с операционной системой Windows 2000 или Windows XP, предназначенный для установки программного обеспечения «Высота» и управляющий работой станции;
 - адаптер связи АС-СМ, представляющий собой интерфейсный модуль, обеспечивающий аппаратный обмен данными между модулями ЦТА-СМ, ПРДП-СМ, ЦНД-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 исполнительного модуля «Высота», драйвера сопряжения LPT-адаптер и набора служебных библиотек.
- Исполнительный модуль «Высота» включает:
- управляющую программу;
 - пользовательский графический интерфейс;
 - программу цифровой преобработки сигналов;
 - средства автоматического и интерактивного анализа;

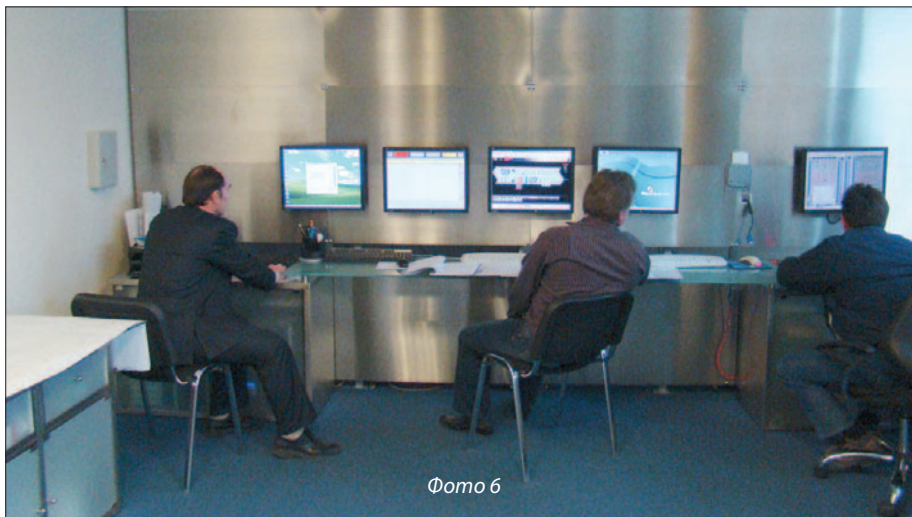


Фото 6

- 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 и 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.

Базовый комплект станций может дополняться следующими блоками: мониторинга экстремальных нагрузок, геотехнического мониторинга и мониторинга фасадов. Основная функция блока экстремальных нагрузок — мониторинг воздействия предельной ветровой нагрузки и сейсмических воздействий. При превышении заданных уровней производится экстренное включение блока динамических исследований для регистрации. Блок геотехнического мониторинга фундаментов и оснований

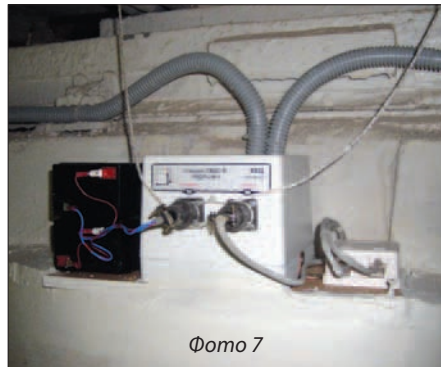


Фото 7

предназначен для измерения давления на грунт, регистрации акустической эмиссии и выполнения ультразвуковых наблюдений. Блок мониторинга фасада служит для опτικο-волоконного мониторинга фасада и его температурного мониторинга. При необходимости производится связь с городским центром экстремальных ситуаций.

Установка станции в их базовом варианте включена в проекты более чем 25 строительных объектов, таких, как высотные объекты ММДЦ «Москва-Сити» (участки №№ 1, 4, 10, 12, 14, 15), высотные здания других районов города (на Ленинском, Мичуринском и Олимпийском проспектах, в Строгино, Тропарево-Никулино, на Ходынской ул. и др.) [3]. С использованием СМДС запроектированы стационарные станции мониторинга на таких объектах с большепролетными конструкциями, как Крытый конькобежный центр в Крылатском, Общественная зона для обслуживания пассажиров транспортно-пересадочного узла и пешеходно-травалаторной связи ММДЦ «Москва-Сити», 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 СМДС выполнен на многофункциональном административно-деловом комплексе ММДЦ «Москва-Сити», участок 10, блок «С». Места предполагаемой установки приборов станции по этажам здания представлены на рисунке 2. На рисунке 1 показаны места

установки приборов на фундаментной плите. Фото 1 и 2 дают представление о реальном размещении в измерительных пунктах приборов ЦТА-СМ, а фото 3 — приборов ЦТА-СМ и ПРДП-СМ. На фото 4 представлен типовой блок размещения наклонномеров ЦНД-СМ. На фото 6 приведен реальный вид компьютерно-информационного центра станции. В настоящее время на объекте завершены комплекс монтажных и пусконаладочных работ и начинается период опытной эксплуатации станции.

Расширенный вариант стационарной автоматизированной станции мониторинга технического состояния объекта с использованием станции СМДС-В установлен на здании спортивного комплекса «Крылатское», представляющего собой крупное спортивное сооружение с большепролетными конструкциями.

На фото 5, 7, 8 — размещение приборов по колоннам и фермам сооружения.

С начала строительства объекта и до сегодняшнего времени ЦНИИСК им. Кучеренко проводил и проводит мониторинг технического состояния конструкций объекта. Несколько лет назад правительством Москвы было принято решение об установке на этом объекте более полной системы контроля его технического состояния. В связи с этим решением были проанализированы наиболее вероятные сценарии перехода объекта в аварийное состояние и разработан проект стационарной станции мониторинга. Для реализации этих целей на конструкциях объекта была кроме прочего дополнительного оборудования установлена СМДС.

В. В. ГУРЬЕВ, д. т. н., заместитель директора по научной работе,
В. М. ДОРОФЕЕВ, к. ф.-м. н.,
руководитель отдела мониторинга и комплексного обследования зданий и сооружений,
И. И. БУЛЫКИН, с. н. с.,
Д. А. ЛЫСОВ, ведущий инженер.
ГУП МНИИТЭП

Литература

1. Гурьев В. В., Дорофеев В. М. «Мониторинг технического состояния зданий и сооружений». // «Стройпрофиль», №4, 2005 г.

2. Гурьев В. В., Дорофеев В. М., Катренко В. Г., Лысов Д. А., Назьмов Н. В. «Опыт применения автоматизированной станции мониторинга деформационного состояния СМДС-В на объектах города». Материалы V Международной конференции-выставки «Уникальные и специальные технологии в строительстве. UST-Build 2008». Москва, 2008 г.

3. Гурьев В. В., Дорофеев В. М., Лысов Д. А. «Опыт проектирования стационарных автоматизированных станций мониторинга технического состояния высотных зданий». // «Промышленное и гражданское строительство», № 5, 2007 г.

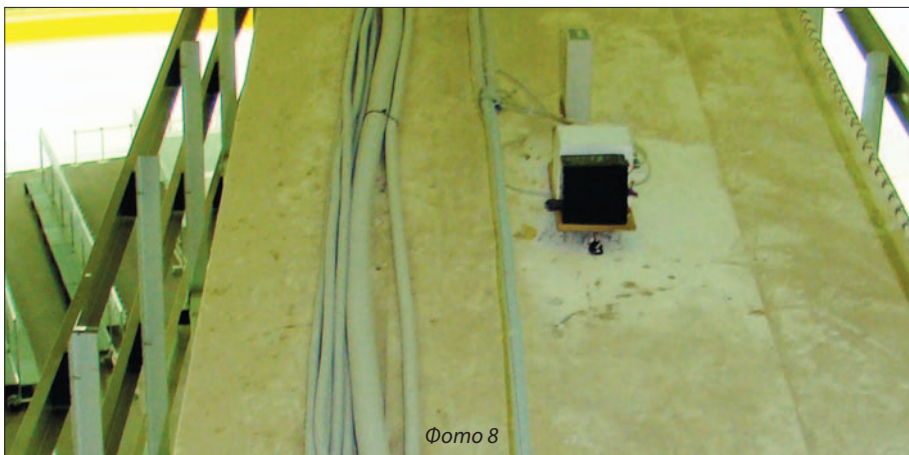


Фото 8