

# **СТРОИТЕЛЬНЫЙ МОНИТОРИНГ НА БАЗЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ. ОПЫТ И РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ**

## **STRUCTURAL MONITORING BASED ON FIBER OPTIC SENSORS. EXPERIENCE AND RESULTS OF THE USE FOR TALL BUILDINGS**

Неугодников А.П., заместитель Генерального директора ЗАО «Мониторинг-Центр»;

Ахлебинин М.Ю., кандидат технических наук, заместитель Генерального директора ЗАО «Мониторинг-Центр»;

Егоров Ф.А., кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Главный конструктор ЗАО «Мониторинг-Центр»;

Быковский В.А., Директор ООО «Мониторинг-Урал».

### **АННОТАЦИЯ**

Строительный мониторинг все больше и больше входит в область гражданского строительства в качестве надлежащего инструмента для повышения безопасности и организации оптимальных действий в процессе эксплуатации зданий. Применяемые стратегические подходы в мониторинге зависят от многих параметров, среди которых – конструктивное решение сооружения, размеры, используемые стройматериалы, нагрузки и их сочетания, прогнозируемый срок службы и т.д. В данной работе представлены основные результаты применения систем мониторинга ЗАО «Мониторинг-Центр» для высотных зданий: разработка, сертификация, серийный выпуск волоконно-оптических датчиков для систем мониторинга; методики и технологии монтажа систем мониторинга в различных условиях строительства; методы организации мониторинга, измерений и интерпретации данных.

### **ABSTRACT**

Structural monitoring is more and more accepted in the domain of civil engineering as a proper mean to increase the safety and to better plan the management activities. The employed monitoring strategy depends on several parameters such as the type of structure, its dimensions and construction material, the loads and their combinations, the predicted durability etc.

In this paper the main results of the application of monitoring systems of ZAO «Monitoring Center» on tall buildings are presented: development, certification, serial production of fiber-optic sensors

for monitoring systems; techniques and technologies of installation of measuring systems in various conditions of construction; methods of monitoring, measurement and interpretation of monitoring data.

## ВВЕДЕНИЕ

Информационно-измерительные системы, базирующиеся на волоконной оптике, все больше и больше находят применение в различных индустриальных областях. Благодаря ряду уникальных свойств, которыми обладают только волоконно-оптические датчики, а также вследствие присущей им надежности и точности, внедрение подобных систем наблюдается в нефтяной и газовой промышленности, медицине, самолето- и ракетостроении, угледобывающей промышленности, охранных технологиях. Отдельную позицию среди сфер применения волоконно-оптических датчиков занимает строительство. Для строительства волоконно-оптические датчики – это не только новый измерительный инструмент с широким спектром контролируемых параметров и надежными эксплуатационными свойствами. Новое измерение в данном случае следует понимать шире. Безусловно, благодаря волоконно-оптическим датчикам картина контроля параметров сооружения стала значительно более четкой, информативной, но главное заключается в том, что появилась возможность построить такие системы мониторинга, которые раньше были недоступны. Волоконно-оптические датчики надежно работают в железобетоне, они абсолютно индифферентны к влияниям электромагнитных полей (страшный бич, который парализует работу традиционных датчиков). Возможность получить информацию о состоянии конструкции изнутри в неискаженном виде – пожалуй, одно из основных достоинств этих датчиков. Поэтому не будет большим преувеличением сказать, что волоконно-оптические датчики дали новое измерение в смысле расширения границ технологий мониторинга в строительстве [5].

## НОВЫЙ УРОВЕНЬ БЕЗОПАСНОСТИ – ТРЕБОВАНИЕ СОВРЕМЕННОГО ВЫСОТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

В настоящее время два крупнейших объекта в Москве оснащены волоконно-оптическими датчиками давления в грунте и датчиками деформаций, разработанных в ЗАО «Мониторинг-Центр»: офисный 38-этажный блок многофункционального комплекса «МонАрх-Центр» и многофункциональный 27-этажный комплекс, включающий в себя штаб-квартиру

«SIEMENS» и офисный центр АФК «СИСТЕМА» [6]. На первом объекте в системе мониторинга установлено 130 датчиков (Рис. 1), оборудовано 2 диспетчерских пункта, ведется регулярный контроль контактных напряжений, деформаций фундаментной плиты, деформаций и моментов вертикальных несущих конструкций на четырех уровнях по вертикали.



Рис. 1. Датчик деформаций в пилоне: опалубка снята, очередной измерительный узел заносится в реестр системы мониторинга

На втором объекте установлено более половины из запланированных 164 датчиков, оборудованы 2 диспетчерских пункта, ведется контроль параметров здания. Успешному становлению волоконно-оптических систем мониторинга в строительстве способствовал пакет нормативных документов, в которых мониторинг параметров сооружения для высотных зданий и многофункциональных комплексов регламентируется как обязательная процедура. Не будет преувеличением сказать, что МГСН 4.19-05 «Многофункциональные высотные здания и комплексы» [1] явился революционным прорывом в постановке вопроса обеспечения безопасности строительных сооружений. Благодаря требованиям этого документа необходимость установки систем мониторинга на высотных и многофункциональных комплексах стала стандартом для Москвы и все крупнейшие объекты, возводимые в столице, оснащаются системами мониторинга технического состояния конструкций.

Документы, регламентирующие мониторинг высотных и ответственных зданий и сооружений, достаточно «молоды»: МГСН 4.19-2005 [1] выпущен в 2005 году, а последний документ - МРДС-02-08 [2] выпущен летом 2008 года. Тем не менее, проблемы безопасности в строительстве можно считать вечными проблемами. А сегодня, когда темпы роста высотных и уникальных зданий растут с каждым годом, задачи обеспечения безопасности становятся особенно актуальными [4].

Знаковым документом, в том числе, определяющим подходы в разработке систем строительного мониторинга в Беларуси, является [3] ТКП 45-3.02-108-2008 «Высотные здания. Строительные нормы проектирования».

При этом отраден тот факт, что многие региональные российские строительные компании, в задачи которых входит построение высотных зданий, считают обязательным наличие систем строительного мониторинга в отсутствие местных нормативов, аналогичных МГСН 4.19-05. Так, ЗАО «Мониторинг-Центр» получил заявки на монтаж систем мониторинга на базе волоконно-оптических датчиков для высотных зданий в Казани и Санкт-Петербурге, Сочи и Чебоксарах [7]. Помимо заказов на объектах, возведение которых только начинается, выполнен ряд работ по контролю состояния зданий, находящихся в длительной эксплуатации, мониторингу конструкций спортивных комплексов и т.д. Универсальность и высокие адаптивные качества системы мониторинга, разработанной в ЗАО «Мониторинг-Центр», позволяют устанавливать датчики как внутри строительных элементов (стены, колонны, фундамент, грунт), так и снаружи. Этот факт позволил провести ряд работ по контролю динамики раскрытия трещин в эксплуатируемых зданиях, что открывает еще одну область применения вышеназванной системы мониторинга. В портфеле заказов ЗАО «Мониторинг-Центр» есть объекты, строительство которых завершено и монтаж датчиков внутри конструкции невозможен, тем не менее, заказчик счел необходимым установить систему мониторинга на основные конструктивные элементы с датчиками внешнего крепления, что свидетельствует о серьезном и ответственном отношении заказчика к качеству и безопасности.

Новое измерение, новое качество обеспечения высокого уровня безопасности в виде разработки системы строительного мониторинга на базе волоконно-оптических датчиков – это паритетный ответ новому этапу отечественного строительства. Сегодня нет региона, где не возводятся высотные здания, многофункциональные комплексы, во многих областях России ведется реконструкция или строительство новых аэропортов, отдельной строкой в строительной индустрии прописаны объекты Олимпийского Сочи. И в каждом из этих случаев реализуется уникальный проект, внедряются новые технологические решения,

разрабатываются новые сложные модели. Именно эти условия интенсивного освоения «строительного будущего» бросили вызов инженерам-разработчикам систем интеллектуального здания. В ряду сложных задач управления инженерными системами уникальных строений вопрос контроля технического состояния конструкции стал вопросом номер один. Поэтому все наработки по реализации систем строительного мониторинга сегодня – это, безусловно, новые технологии, и, конечно, это крайне ценный опыт. Многие вопросы, которые пришлось решать по мере разработки системы мониторинга, ранее никогда не ставились, и, соответственно, их решение – результат, который ложится в фундамент будущих работ по оснащению ответственных сооружений подобными системами. Основные результаты, которые получены по мере эксплуатации систем мониторинга на базе волоконно-оптических датчиков ЗАО «Мониторинг-Центр» при решении различных задач на ряде объектов, можно разбить на три группы.

## РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ ВОЛОКОННОЙ ОПТИКИ

К результатам этого этапа относятся разработка, сертификация, запуск серийного производства стержневых волоконно-оптических датчиков деформаций (СВОДД), волоконно-оптических датчиков давления в грунте (ВОДГ) и электронных блоков – измерителей сигналов волоконно-оптических датчиков (ИСВОД). Этот этап, пожалуй, основополагающий и задачи, которые решались в течение этого этапа, являлись задачами приборостроительными. Огромное количество экспериментов, определение конструктивных особенностей датчиков, выбор оптимальных материалов и технологий производства датчика, способного «выжить» в условиях железобетонного окружения, создание компактного ИСВОДа, сигнал с которого можно снимать вручную, или же в условиях единой автоматизированной системы управления, при этом как в цифровом, так и в аналоговом форматах. Вся эта тщательная и в каком-то смысле даже изощренная процедура разработки элементов системы мониторинга была намеренно направлена на создание надежного измерительного инструмента, который легко адаптируется к разным строительным условиям. Сертификация и наладка серийного выпуска элементов системы мониторинга (Рис. 2) принципиально отделили систему мониторинга на базе волоконной оптики от лабораторных образцов, от разовых научных исследований. Задача по созданию системы мониторинга формулировалась именно так: получить промышленный продукт, который можно производить серийно и который соответствует необходимым стандартам.

Соответствующие сертификаты были получены в 2006 году и в том же году Уральский филиал ЗАО «Мониторинг-Центр» (ныне ООО «Мониторинг-Урал») запустил серийный выпуск датчиков и ИСВОДов (Рис. 3), а технические решения, полученные в результате разработки системы мониторинга, защищены патентами Российской Федерации и работа по патентованию идет постоянно.



Рис. 2. Разъемы от волоконно-оптического датчика деформаций, залитого в пилоне, выведены в коннекторный блок на поверхность



Рис. 3. Серийный выпуск: очередная партия электронных блоков доставлена из ООО «Мониторинг-Урал» в Москву

## ТЕХНОЛОГИИ МОНТАЖА ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА НА СТРОИТЕЛЬНОМ ОБЪЕКТЕ

Это вторая группа результатов, которые можно отнести к разряду новых строительных технологий – это комплекс методик и технологий монтажа измерительных комплексов на разных строительных элементах в различных условиях строительства. Сложность задач и ценность опыта, присущих этому блоку новых технологий, связаны с тем, что в отличие других систем мониторинга, датчики устанавливались одновременно с возведением контролируемых конструктивных элементов. Иными словами датчики ВОДГ устанавливались непосредственно перед заливкой бетонной подготовки, СВОДД в фундаменте монтировались непосредственно во время вязки арматурного каркаса (Рис. 4), СВОДД в колоннах и стенах устанавливались за несколько часов до их заливки. Эти обстоятельства сопровождалось жестким режимом строительных работ, поэтому специалисты, монтировавшие датчики, работали вместе со строительными рабочими и требования, предъявляемые в таком тандеме к датчикам, были такие же, как к арматуре, сварочному аппарату или лопате: быть прочными, не бояться воды или пыли и не создавать проблем ведущимся рядом работам. Приятное наблюдение, которое сделано во время установки системы мониторинга на объекте «МонАрх-Центр», заключается в том, что в подавляющем большинстве случаев рабочие относились к датчикам и работам по их установке с пониманием и оказывали посильную помощь. Отдельной непростой задачей оказалась проблема сохранения волоконно-оптического кабеля во временных коробах до постройки помещений транзитного диспетчерского пункта. Трудной задачей оказался и вывод волоконно-оптических разъемов из-под фундамента и из фундаментной плиты, для чего пришлось разработать и изготовить специальную монтажную штангу. В дальнейшем, когда заработали транзитные диспетчерские пункты на офисном блоке «МонАрх-Центр», пришел черед урокам, через которые проходят все системы мониторинга на стройплощадках: неоднократно обнаруживались вскрытые коннекторные блоки, где находились волоконно-оптические разъемы от датчиков СВОДД, установленных в пилонах. В результате часть датчиков была утрачена. Опыт установки системы мониторинга на реальной стройке показал, что обязательным условием сохранения элементов системы до завершения работ является наличие круглосуточной охраны.



Рис. 4. Датчик деформаций готов контролировать фундамент «высотки»

#### ПРОГРАММА МОНИТОРИНГА И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ

Это последняя группа результатов, которые, несомненно, следует считать примером новых строительных технологий, включает в себя разработку методики организации мониторинга, методик измерения и схем интерпретации данных регистраций. Регулярные измерения в течение 2006 – 2009 г.г. велись на «МонАрх-Центр» и здании офисных центров «SIEMENS»-АФК «СИСТЕМА». Часть датчиков сегодня подключены к компьютерам в диспетчерских пунктах, остальные опрашиваются в ручном режиме с помощью специально разработанного в ЗАО «Мониторинг-Центр» переносного диагностического комплекса ПДК-5. Для установленной системы мониторинга была разработана методика проведения измерений, а также организации мониторинга в целом. Данные, которые регистрировались в течение возведения высотных зданий и проводятся сейчас, подвергались скрупулезному анализу и сопоставлению с ожидаемыми проектными параметрами. Следует отметить, что огромный объем поступающей информации стал тоже достаточно новым элементом по сравнению с традиционным мониторингом, который основан на разовых контрольных измерениях. Кстати, впервые была осуществлена возможность проводить измерения системой мониторинга на базе волоконно-оптических датчиков совместно с традиционными геодезическими наблюдениями. Такой измерительный «дуэт» показал настоятельную необходимость совмещать известные методы контроля с технологическими новинками: во-



первых, имеется возможность проверять показания одной системы в сравнении с другой, а во-вторых, организация мониторинга приборами разных физических принципов только дополняет и уточняет картину наблюдений.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение можно уверенно сказать, что в новом измерении, которое открыли волоконно-оптические датчики в задачах строительного мониторинга высотных зданий, зафиксирован успешный старт и обозначились большие перспективы, как в России, так и в Беларуси.

## СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1.МГСН 4.19-05 «Многофункциональные высотные здания и комплексы»
- 2.МРДС 02-08 «Пособие по научно-техническому сопровождению и мониторингу строящихся зданий и сооружений, в том числе большепролетных, высотных и уникальных»
- 3.ТКП 45-3.02-108-2008 «Высотные здания. Строительные нормы проектирования»
- 4.Неугодников А. П., Дергунов А. А., Хиславский З. Г., Давидюк А. А., «Диалоги о мониторинге 2, или Нормативы по научно-техническому сопровождению строительства», Технологии строительства, № 3, 2008
- 5.Неугодников А. П., «Строительный мониторинг на базе волоконно-оптических датчиков: гарантия качества и безопасности», Информационный сборник "Современные системы и средства комплексной безопасности и противопожарной защиты объектов строительства", М. ГУП «ИТЦ Москомархитектуры», 2009
- 6.Егоров Ф. А., Поспелов В. И., Неугодников А. П., Быковский В. А., Тер-Мартirosян З. Г., «Первый опыт контроля строительства высотного здания системой мониторинга на основе волоконно-оптических датчиков», Тезисы докладов VII Российской национальной конференции по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию, 2007
- 7.Сайт [www.mocent.ru](http://www.mocent.ru)