

Волоконо-оптический датчик давления в грунте перед заливкой бетоном

д.т.н., профессор, З.Г. Тер-Мартirosян,
Московский государственный строительный университет

к.ф.-м.н. Ф.А. Егоров, к.т.н. В.И. Поспелов,
А.П. Неугольников, Ю.А. Туляков,
ООО «Мониторинг-Центр», Москва,

В.А. Быковский,
Уральский филиал ООО «Мониторинг-Центр»,
Каменск-Уральский



Мониторинг напряженно-деформированного состояния многофункционального высотного комплекса волоконно-оптическими датчиками

От редакции: Предлагаемая вниманию читателей статья является продолжением серии публикаций, посвященных строительному мониторингу на базе волоконной оптики. Теоретические и экспериментальные основы конструкции волоконно-оптических датчиков были представлены в нашем журнале в 2005 году в № 1, 3, 4. Кроме того, организационным и концептуальным моментам при построении системы мониторинга, были посвящены публикации 2004 года в №6 и 2005 года в №2, 4, 5. Вопросы мониторинга фасадных конструкций освещались нашим журналом в №5 и 6 за 2004 год. В материалах журнала №6 за 2005 года рассказывалось о первом опыте реализации волоконно-оптической системы строительного мониторинга. За время, прошедшее с момента первых публикаций, разработчикам удалось построить реальную систему, конкурирующую со многими традиционными и волоконно-оптическими аналогами, а также реализовать масштабный проект на уникальном строительном объекте. Редакция «Технологий строительства» представляет данный материал, с удовлетворением отмечая тот факт, что становление новой строительной технологии — от замысла до воплощения — происходило при активном участии и поддержке журнала.

Требования нормативного документа воплощаются на стройплощадке

В соответствии с положениями МГСН 4.19-2005 многофункциональные и высотные здания в Москве должны быть оснащены диспетчерскими пунктами, обеспечивающими контроль параметров жизнеобеспечения здания в режиме реального времени.

В известном смысле эти задачи и до появления указанных строительных норм ставились и решались компаниями, специализирующимися на разработке систем «интеллектуального здания». Однако именно с появлением МГСН 4.19-2005 акцент в управлении процессами сложного функционирования и взаимодействия внутренних систем современного здания был сделан на безопасность.

Действительно, если составить список систем жизнеобеспечения, характерный для среднестатистического «умного дома», то он будет выглядеть следующим образом:

- системы бесперебойного электропитания;
- системы освещения;
- система вентиляции;
- система отопления;
- система горячего и холодного водоснабжения;
- системы канализации;
- система оперативной связи;
- системы учета и контроля расхода ресурсов;

- система охранно-пожарной сигнализации;
- система контроля и управления доступом;

Цели, которые преследуются системами автоматизации здания, как правило, формулируются так:

- Ресурсосбережение
- Безопасность
- Комфорт

Очевидно, что из представленных целей ранг наивысшей важности имеет безопасность. Тем не менее, в системах жизнеобеспечения безопасность фигурирует обычно только в виде контроля надежности эксплуатации инженерных систем в сочетании с различными охраняемыми системами. И здесь возникает парадокс в самом подходе к обеспечению безопасности, поскольку первичная система — система мониторинга конструктивного состояния, точнее говоря — мониторинга напряженно-деформированного состояния здания (НДС) — как правило, не представлена в «джентльменском наборе» систем контроля.

Законодательное требование мониторинга технического состояния зданий для многофункциональных комплексов — безусловно, новый шаг в современном строительстве. Значение этого шага принципиально и в плане качественно нового уровня безопасности, и в виде новаторского опыта московских властей, пример которых важен и для региональной стройиндустрии.



Первые датчики готовы к установке



Прокладка волоконно-оптического кабеля

В представленной статье дается обоснование необходимости контроля НДС несущих конструкций, то есть рассказывается о системе мониторинга на базе волоконно-оптических датчиков, в данный момент устанавливаемой на строящемся многофункциональном комплексе. Заказчиком системы мониторинга для многофункционального делового спортивно-рекреационного комплекса, включающего в себя офисное здание, гостиницу и торговый центр, выступил концерн «МонАрх». Установку системы мониторинга производит ООО «Мониторинг-Центр». Система мониторинга базируется на волоконно-оптических датчиках деформаций и давления, является собственной разработкой ООО «Мониторинг-Центр» [1, 2], при этом датчики сертифицированы и выпускаются серийно. Научное руководство обеспечивает заведующий кафедрой «Механики грунтов, оснований и фундаментов» МГСУ профессор З.Г. Тер-Мартirosян.

Строительный объект и система мониторинга: характеристики и техническое решение

В качестве объекта контроля проектировщиками был определен наиболее сложный блок многофункционального комплекса — офисный блок, высота надземной части которого составляет 33 этажа, а подземная часть включает 3 этажа. В результате тщательного анализа геотехнических параметров грунта в сочетании

со сложным конструктивным решением было определено установить на офисном блоке 125 датчиков. Функционально датчики как инструменты контроля распределены по следующей схеме:

- 24 датчика давления в грунте по подошве фундамента;
- 21 датчик деформаций арматуры в фундаменте;
- 80 датчиков деформаций в вертикальных элементах (пилоны, колонны) в составе:
 - в 10-ти пилонах по 2 датчика в каждом на «минус» 3-м этаже;
 - в 10-ти пилонах по 2 датчика в каждом на «минус» 1-м этаже;
 - в 10-ти пилонах по 2 датчика в каждом на 3-м этаже;
 - в 10-ти пилонах по 2 датчика в каждом на 18-м этаже.

Схемы установки датчиков представлены на рис. 1–3.

Обоснование такого технического решения базируется на следующих позициях.

Волоконно-оптические датчики давления в грунте (обозначены буквой «М» с соответствующим индексом — от слова «мессдоза», рис. 2) позиционированы таким образом, чтобы можно было решить две задачи мониторинга:

- местный (локальный) контроль давления в заданной точке — в связи с этим датчики по большей части находятся под несущими конструкциями;
- общий (глобальный) контроль распределения давления по фундаментной

Рис. 1. Схема установки датчиков деформаций в фундаментной плите. Обозначено: Δ — верхняя зона, О — нижняя зона, ■ — направление арматурного стержня

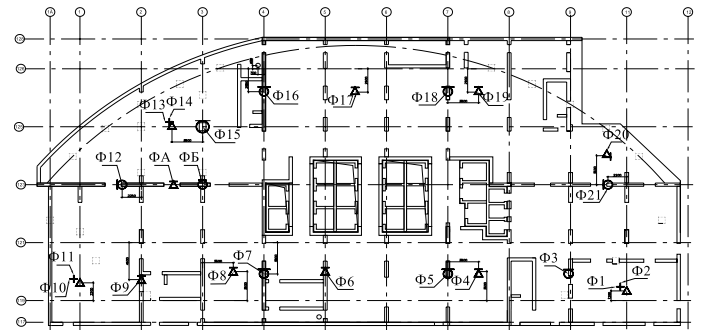
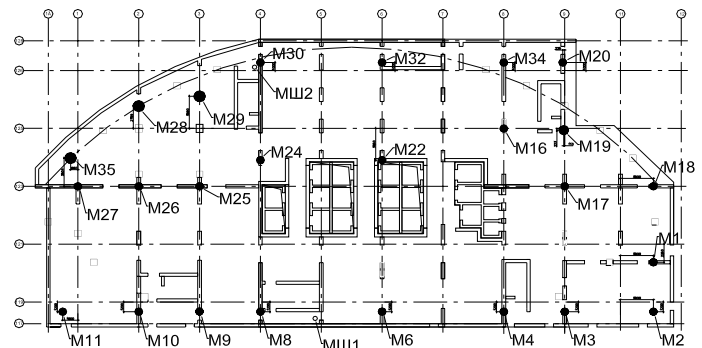


Рис. 2. Схема установки датчиков давления по подошве фундамента



плите — в связи с этим схема расположения датчиков разработана таким образом, чтобы можно было восстановить эпюры давления по продольным и поперечным осям фундаментной плиты в плане.

Волоконно-оптические датчики деформаций, устанавливаемые в фундаментной плите (обозначены буквой «Ф» с соответствующим индексом — от слова «фундамент»), также, по решению научного руководителя мониторинга, должны решать две задачи: локальную и глобальную. Как местный инструмент контроля, датчик деформаций регистрирует степень удлинения или сжатия арматуры, что после нормирования на базу датчика, с помощью закона Гука, можно пересчитать в напряжения и сравнить полученные величины с расчетными.

С точки зрения общей (глобальной) картины контроля фундамента, показания датчиков «Ф» после анализа всего массива показаний должны предоставить информацию о поле напряжений по всей плите. Глобальная информация позволит судить о картине распределения напряжений в арматуре по плите, а также сделать некоторые выводы о геометрии плиты в собственной плоскости. Ситуация с датчиками «Ф» более сложная, чем с датчиками давления «М», поскольку требуется контроль не только в направлениях плоскости плиты, но и по вертикали. Для этого была разработана схема установки датчиков «Ф», дающая максимально полную информацию о поле напряжений в продольном и поперечном измерениях плиты, а также

в верхнем и нижнем поясе по вертикали. Поэтому датчики устанавливались в верхнем и нижнем слоях арматуры с соответствующей ориентацией (рис. 1).

Следующий, наиболее многочисленный блок датчиков в системе мониторинга — датчики деформаций, монтаж которых осуществляется в вертикальных конструкциях (обозначаются буквой «В» (от слова «вертикаль») с соответствующим сложным индексом). Схема установки этих датчиков была разработана с учетом особенностей высотной конструкции здания. Решено было установить датчики на 10 вертикальных осях, образованных пилонами, которые по проекту на каждом этаже находятся в одном и том же месте. Тем самым были выбраны 10 наиболее важных конструктивных вертикалей, которые, являясь несущими элементами, «пронизывают» перекрытия здания с «минус» 3-го этажа до 33-го. В центре каждого контролируемого пилона устанавливалось по два датчика типа «В». При этом геометрически датчики располагались на арматурных стержнях, находящихся в середине каждой из длинных сторон пилона. В результате получалась конфигурация, при которой показания датчиков информируют не только о величине деформаций (а, значит, и напряжений) в пилоне, но и о моменте, который испытывает пилон при нагрузках. Датчики деформаций «В», так же, как и датчики «М» и «Ф», по замыслу научного руководителя, должны давать информацию в двух аспектах:

— *локально*: величину деформаций (пересчитываемых в напряжения) и оценку момента в конкретном пилоне;

— *глобально*: картину распределения деформаций (а, стало быть, напряжений) в пилонах в вертикальном измерении.

Именно исходя из этих задач горизонтальные плоскости, в которых необходимо контролировать деформации в пилонах, были определены на «минус» 3-м, «минус» 1-м, 3-м и 18-м этажах.

Следует отметить, что большой объем информации, который предполагается снимать с датчиков, в силу представленной схемы их монтажа, позволит анализировать параметры НДС здания в самых различных сочетаниях, учитывая также возможность сопоставлять данные датчиков разных маркировок. Например, сопоставление величин деформаций в пилонах В(-3)5.2, В(-1)5.2, В(+3)5.2 и В(+18)5.2, находящихся по одной вертикали (так называемый «узел 5») с данными датчика Ф12, находящегося вблизи узла 5 и датчика М26, расположенного в проекции этой области под фундаментом, предоставит возможность сделать вывод о корреляции этих параметров и, соответственно, о «правильности» работы конструкции здания.

Принципиально процесс мониторинга НДС здания разбит на два этапа:

— Первый — перманентное снятие показаний в режиме временного диспетчерского пункта по мере возведения здания.

— Второй — вывод показаний датчиков в постоянный диспетчерский пункт с установкой режима регулярного опроса датчиков во время эксплуатации здания.

Технические характеристики системы мониторинга ООО «Мониторинг-Центр»

Принципы работы волоконно-оптических датчиков описаны в [3]. Схематически датчики с основными компонентами представлены на рис. 4, 5. Основные технические характеристики датчиков приведены в таблицах 1–2.

Согласно данным [4, 6], среди европейских технологий мониторинга строительных конструкций доминирующие позиции начинают занимать измерительные системы на базе волоконной оптики. Этот факт объясняется, прежде всего, тем, что стройка создает для измерительных приборов чрезвычайно экстремальные условия эксплуатации. Вследствие этого для строительного мониторинга становятся востребованы именно волоконно-оптические датчики, поскольку обладают рядом принципиальных специфических параметров [1,6]:

- высокая помехозащищенность;
- высокая чувствительность;
- индифферентность к различным агрессивным факторам;
- высокая надежность и большой ресурс эксплуатации;
- пожаро- и взрывобезопасность.

Сдерживающим фактором широкого внедрения волоконно-оптических систем мониторинга в строительстве можно считать отсутствие методик и технологий монтажа датчиков. В процессе установки датчиков ООО «Мониторинг-Центр» на описываемом объекте авторам удалось разработать, опробовать и успешно применить ряд способов установки системы, которые сегодня можно назвать типовыми.

Основные задачи, которые были решены в процессе установки системы, следующие:

- Оборудование монтажной штанги для вывода коммутационных блоков оптического кабеля из арматуры после закрепления датчиков деформаций на местах.
- Разработка методики опроса датчиков в отсутствие условий лабораторной чистоты.
- Разработка методик защиты коммутационных блоков от повреждений в случае большого сдавливания при установке опалубки на каркасы пилонов.

Кроме того, приобретен большой опыт в ситуациях, когда коммутационные блоки повреждались, при этом внутрь блоков попадал бетон. Предварительные процедуры по защите блоков позволили свести к минимуму работы по восстановлению целостности блоков, а главное — все волоконно-оптические разъемы сохранили работоспособность.

Отдельно необходимо отметить, что измеритель сигналов волоконно-оптических датчиков — оптоэлектронный блок, также

разработанный в ООО «Мониторинг-Центр», — является общим конструктивным элементом и для датчика деформаций, и для датчика давления. Вследствие этого измеритель сигналов унифицирован в производстве и является взаимозаменяемым блоком для обоих видов датчиков. Измеритель сигналов обладает рядом функций, позволяющих автоматизировать процесс регистрации, а именно:

- формирует световой импульс;
- получает преобразованный импульс на фотоприемник и «переводит» его в электрический сигнал;
- имеет возможность регистрации с шагом от 1 раза в 2 секунды и реже;
- имеет блок памяти более чем на 10000 регистраций;
- снабжен тремя выходами: по протоколам RS232, RS485 и аналоговый.

Технология монтажа датчиков на контролируемых элементах

Как было сказано выше, система мониторинга формировалась из трех основных блоков контроля (рис. 6):

- Контроль давления по подошве фундамента.
- Контроль деформаций арматуры в фундаменте.
- Контроль деформаций арматуры в пилонах.

Соответственно представленному делению были разработаны три методики установки датчиков.



Датчики деформаций перед заливкой пилонов: проверка крепления

Таблица 1. Технические характеристики волоконно-оптического датчика давления в грунте.

Параметр	Величина
Диапазон измеряемого давления	0 ÷ 10 кгс/см ²
Погрешность измерения	2%
Порог чувствительности	0,2 кгс/см ²
Потребляемая мощность измерителя сигналов	Не более 2 Вт
Температура эксплуатации	-20...+60°C
Устойчивость к коррозии	да
Влажность при эксплуатации	0...100%
Срок службы	Не менее 10 лет
Тип оптоволокна	Одномодовое, SMF28
Габаритные размеры корпуса датчика	Диаметр — 180 мм, толщина — 20 мм
Наличие электропитания в первичном преобразователе	отсутствует

Таблица 2. Технические характеристики волоконно-оптического датчика деформаций.

Параметр	Величина
Диапазон измеряемых параметров	Относительная деформация — 0 ÷ 2·10 ⁻²
Погрешность измерения	1,5%
Порог чувствительности	10 мк
Потребляемая мощность измерителя сигналов	Не более 2 Вт
Температура эксплуатации	-30...+60°C
Устойчивость к коррозии	да
Влажность при эксплуатации	0...100%
Срок службы	Не менее 10 лет
Габаритные размеры корпуса датчика	60 × 44 × 14 мм
База датчика	0,2...1,0 м
Наличие электропитания в первичном преобразователе	отсутствует



Волоконно-оптический датчик деформаций на арматуре перед заливкой бетоном



Коммутационные блоки от первых датчиков выведены на стол монтажной штанги

Рис. 4. Волоконно-оптический датчик давления

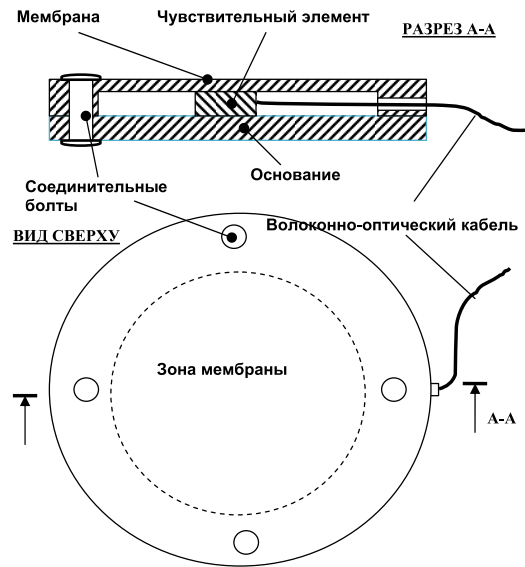


Рис. 5. Волоконно-оптический датчик деформаций. Схема регистрации сигнала с выводом на диспетчерский пункт

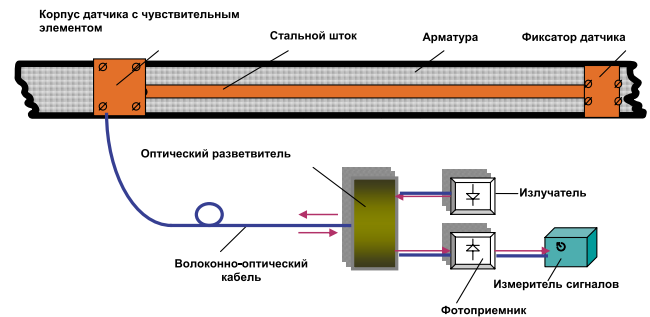


Рис. 6. Схема монтажа датчиков

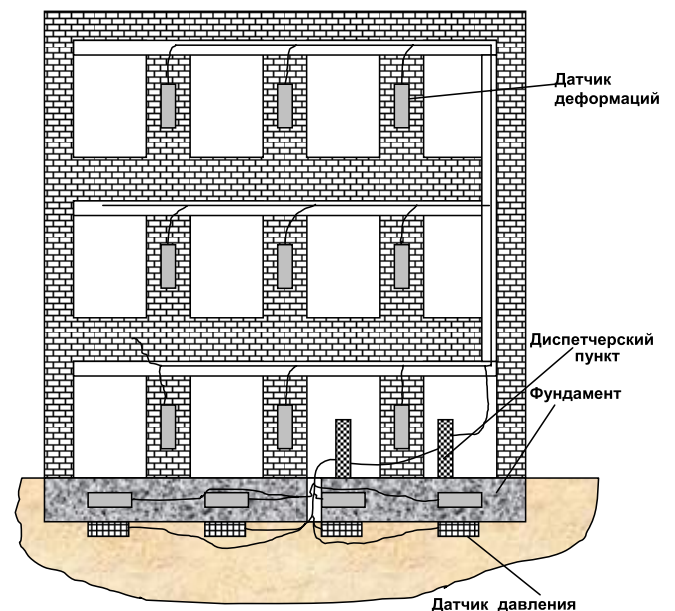


Рис. 7. Деформации в фундаментной плите по результатам измерений 19.01.07

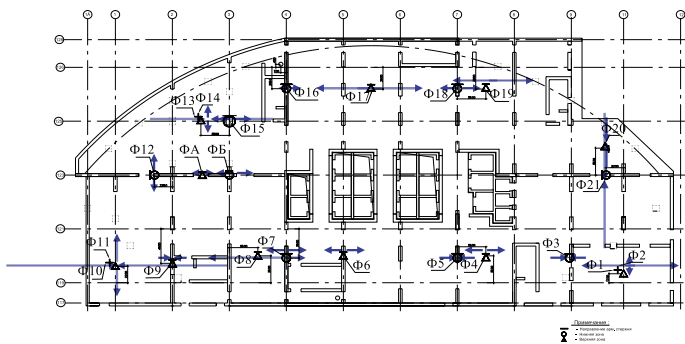


Рис. 8. Диаграмма распределения давления на грунт в геодезических осях

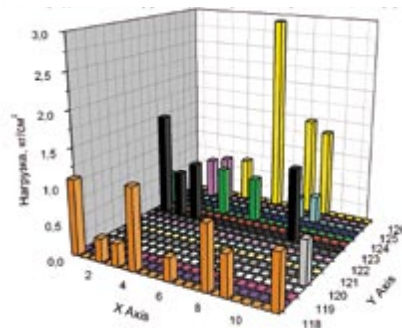
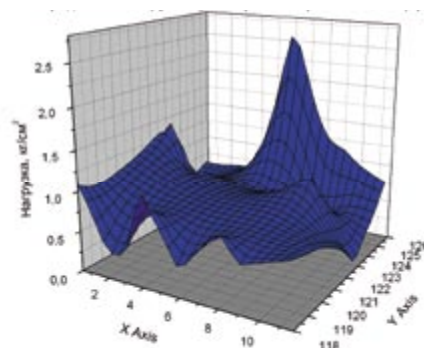


Рис. 9. Пространственное распределение давления на грунт в геодезических осях



Обсуждение вопросов установки датчиков деформаций в арматуре фундамента

Перед установкой датчиков давления в грунте на утрамбованную песчаную площадку был засыпан щебень слоем 40 см. Поверх щебня в местах установки датчиков подсыпался песок слоем 10–15 см. Затем устанавливался датчик мембранной вниз. Кабель с муфтой укладывался по грунту с соблюдением стандартных условий эксплуатации до монтажной штанги. После этого в отверстие монтажной штанги заводился кабель с коммутационной коробкой, и коробка с коммутационной бухтой 3–5 м фиксировалась на монтажном столе, установленном на высоте 3,5 м от грунта.

Датчик деформаций арматуры в фундаменте жестко крепился на арматуре (фоновая, диаметр 28 мм, сталь А500С), кабель распределялся по арматурному каркасу до монтажной штанги с соблюдением условий отсутствия критического радиуса изгиба, далее — все аналогично методике монтажа датчика давления.

Датчик деформаций арматуры в пилонках жестко крепился к арматуре (диаметр 32 мм, сталь А500С), гибкая подводка закреплялась вместе с коммутационной коробкой на арматурном каркасе. Коробки после снятия опалубки освобождались от защитных оболочек, в некоторых случаях приходилось отбивать защитный слой бетона до 6 см. В целях обеспечения

безопасности разъемов и оптических элементов внутри коробки отбивание бетона производилось крайне аккуратно, вручную.

Следует отметить принципиальное отличие методики крепления датчиков деформаций, разработанной ООО «Мониторинг-Центр», от способа крепления, используемого европейскими специалистами [5,7]. Распространенная в Европе методика предполагает крепление датчика на арматуру не жестко, путем привязывания датчика ПВХ проводами к арматуре. Тем самым деформации, получаемые при измерениях, дают информацию о «работе» бетона вблизи арматуры. После чего, следуя логике осреднения свойств железобетона, при расчетах напряжений вводятся приведенный модуль Юнга, включающий в себя модули Юнга стали и бетона в определенной весовой комбинации [7]. В методике ООО «Мониторинг-Центр» датчик крепится жестко на арматуру, и тем самым измеряется деформация арматуры, работающей в условиях сложной модели железобетона. В качестве перспективного направления один из резервных датчиков был закреплен по европейской методике (датчик ФА), и его показания интересны с точки зрения деформаций бетона, работающего как компонент сложной структуры железобетона.

Регистрация первых показаний и первые результаты

На рис. 7–9 представлены результаты измерений деформаций в фундаменте и распределения давления по подошве фундамента, зафиксированные на 18–19 января 2007 года. Исходя из схемы распределения деформаций (указаны стрелками в условных единицах, иллюстрируют сжатие или растяжение арматуры в точках контроля), можно дать общую оценку ситуации как удовлетворительную. В целом арматурные стержни работают в «предписанном» расчетами режиме, анализ индивидуальных данных по каждому датчику дает хорошую корреляцию с нормами. Отдельно требует изучения вопрос больших деформаций сжатия, зафиксированных датчиками Ф10, Ф13 и Ф21. Сложная картина деформаций может объясняться многими факторами, среди которых нельзя упускать из виду: большого давления со стороны стены в грунте, расположенной вдоль осей 1А и 12В, а также неравномерности нагружения плиты по мере строительства в сочетании с непростой формой плиты в плане, особенно в районе осей 9–11. Распределение давления по подошве фундамента (рис. 8–9) представляет собой интересную информацию о том, как нагружается



Лабораторный переносной диагностический комплекс (ПДК7) в процессе градуировки датчика деформаций



Датчики давления в грунте: после сборки и градуировки



Портативный переносной диагностический комплекс — ПДК4

плита. Если обобщенно сформулировать основные тенденции нагрузок в грунте, то можно выделить три группы датчиков:

1. M11, M27, M35, M28, M30, M32, M34, M20 — датчики, расположенные вдоль стены в грунте и фиксирующие наибольшие величины давления.
2. M10, M9, M8, M6, M4, M3, M2, M1, M18 — датчики, расположенные вдоль границы с соседним блоком комплекса, нагруженные примерно в полтора раза меньше, чем датчики первой группы.
3. M26, M25, M24, M22, M16, M19, M17 — датчики, расположенные в центральной части плиты, наименее нагруженные в целом по сравнению со средним уровнем.

Эти данные требуют детального анализа. Но уже сейчас прослеживается некоторая корреляция с данными датчиков деформаций. Прежде всего, нельзя исключать влияние стены в грунте, которая, безусловно, давит на конструкцию возводимого здания, причем результирующая, будучи разложенной по вертикальному и нормальному направлениям, может порождать дополнительные усилия как в плане деформации плиты, так и в смысле давления на грунт. Датчики M34 и M20 совершенно адекватно «чувствуют» присутствие подъемного крана, имеющего анкерное закрепление в плите. Показания их почти симметричны, что объясняется позиционированием крана в центре между ними. Отдельного изучения требует большой уровень давления в районе датчика M32. Все приведенные рассуждения могут быть сведены в итоговое заключение следующим образом:

- необходимо продолжать наблюдения за показаниями датчиков по мере строительства;
- необходимо сопоставлять полученные данные с результатами геодезических наблюдений;
- необходимо доработать методику обработки результатов;
- на момент регистрации данных (18–19 января 2007) с учетом предыдущих сеансов регистраций (27.09, 20.10, 10.12, 17.12, 24.12.2006) можно констатировать удовлетворительное НДС возводимой конструкции.

Особенности адаптации волоконно-оптической системы мониторинга в условиях стройки

Проблема адаптации любой новой технологии в строительстве довольно сложна. Если этот очевидный тезис дополнить обстоятельствами современного высотного строительства, то сложность возрастает многократно. Благодаря МГСН 4.19-2005 российская строительная индустрия заявила о себе в рамках общей европейской тенденции ужесточения параметров безопасности в гражданском строительстве. Но проработка технических требований к системам строительного мониторинга и законодательное закрепление их обязательного наличия в сложных объектах — шаг архиважный, но не решающий всех задач практического внедрения этих систем. В каждом конкретном случае каждая технически обоснованная система имеет свои плюсы и минусы, при этом существует ряд проблем типичных и общих для всех систем мониторинга при внедрении в условия стройки. Проблема установки или монтажа системы на строительном объекте — одна из таких проблем.

Как отмечено в [4], технология монтажа системы известного лидера в области строительного мониторинга — фирмы Smartec SA вносит вклад в стоимость конечного продукта до 50%. При этом, несмотря на большой опыт этой фирмы (более 10 лет) в разработке и установке систем мониторинга, случаи «конфликта» строительного персонала с датчиками, довольно часты. Так, в 2002 году при монтаже системы на опорах строящегося моста, рабочий, обнаруживший неизвестный «желтый кабель», тянувшийся от массива датчиков, просто вырвал его со словами: «Эта штука не нужна!». Стройка — организм очень сложный, в котором происходит одновременно масса технологических процессов. Сроки сжаты, задачи сложные — и в этих условиях появляется дополнительная «головная боль» — датчики.

Специалистами ООО «Мониторинг-Центр», в силу отсутствия российского опыта установки волоконно-оптических систем такого масштаба на уникальном

по конструкции и технологиям объекте, отработывалась методика монтажа on-line в условиях круглосуточного процесса стройки. Когда специалисты Smartec SA в 1996 году поставили одну из первых своих систем на мосту в Лозанне, в начале публикации, посвященной этому событию, авторы отметили как важнейшее обстоятельство тот факт, что темпы строительства не замедлились, а монтаж системы не сорвал сроки. Говоря об установке системы мониторинга на многофункциональном комплексе, возводимой концерном «МонАрх», можно сказать, что все этапы монтажа (а на данный момент реализовано более 30 процедур установок — до 11 датчиков за раз) прошли в штатном режиме и не помешали темпам строительства. Следует отдельно отметить тот факт, что вся необходимая помощь со стороны руководителей и сотрудников концерна «МонАрх» в данном вопросе оказывалась незамедлительно. Кроме того, руководящее звено и рабочие генерального подрядчика — ЗАО «АСМИ» — всегда относились к работам, связанным с монтажом системы мониторинга, максимально внимательно и в режиме полного взаимопонимания.

Если говорить о трудностях, неизбежно сопровождающих любое новое начинание, особенно на стройплощадке, то необходимо проанализировать интегральный показатель успешности монтажа любой приборной базы: количество датчиков, установленных по плану, и количество «отказов», то есть датчиков, поврежденных или не функционирующих после установки. Первые проекты упомянутой выше фирмы Smartec SA сопровождались довольно высоким процентом «отказов». В [5] приведены такие данные: до 60% датчиков вышли из строя спустя месяц после закладки в бетон. Для струнных датчиков, а также для тензодатчиков из литературы известны оценки «отказов» в пределах от 3÷5% до 20÷30% в зависимости от условий установки. Первые датчики на базе волоконной оптики на описываемом объекте были установлены 20 сентября 2006 года. На момент написания статьи установлено 88 датчиков, проведено две тестовых регистрации



Первый временный диспетчерский пункт: здесь хранятся 25 коммутационных блоков от датчиков типа «М» и «Ф». Здесь же проводятся первые сеансы регистрации.



Первые датчики деформаций закреплены на каркасе пилона

и 6 регистраций в штатном режиме. Итог в формате обсуждения работоспособности системы следующий:

- Все датчики «живы», то есть показывают сигнал, соответствующий диапазону градуировки.
- Все датчики показывают изменение сигнала, соответствующее нагрузкам в результате возведения здания.
- Регистрация сигнала в условиях отсутствия диспетчерского пункта стала причиной того, что два датчика потребовали замены коннекторов.
- Для одного датчика потребовалось произвести операцию сварки оптического волокна (4 сварки в кабеле) на дне котлована во время строительных работ.
- Со стороны ООО «Мониторинг-Центр» для компенсации потенциально возможных «отказов» установленных датчиков были установлены дополнительно три резервных датчика (М9, ФА и ФБ). Резервные датчики работают в нормальном режиме, и их показания включены в общие результаты.

Выводы

1. На многофункциональном строительном объекте впервые установлена отечественная система мониторинга на базе волоконно-оптических датчиков.

2. При общем количестве 128 датчиков на момент публикации установлено 88 датчиков, каждый из которых функционирует нормально.

3. Датчики регистрируют показания, которые в целом соответствуют расчетным параметрам здания.

4. Разработана и уточняется методика монтажа датчиков в монолитном железобетонном здании.

Перспективы

На момент написания статьи в арсенале разработчиков системы мониторинга присутствует три вида волоконно-оптических датчиков:

- датчик деформаций;
- датчик давления;
- датчик температуры.

В реализации системы мониторинга на стройплощадке пока задействованы первые два вида. Тем не менее, датчик температуры, чувствительный элемент которого может быть зафиксирован в монолитном железобетоне или закреплен снаружи, также планируется устанавливать на объектах контроля. Кроме этого, в исследовательской лаборатории ООО «Мониторинг-Центр» заканчиваются опытно-конструкторские работы по соз-

данию волоконно-оптического датчика ветровых нагрузок на фасадах. По завершении этих работ, после доработки конструкторской документации и проведения соответствующих патентных и сертификационных мероприятий, авторы полагают предложить строительному сектору законченную линейку волоконно-оптических измерительных систем. На основе такой линейки измерительных систем будет возможно создание наиболее полной и эффективной системы мониторинга основных технических параметров высотных и многофункциональных зданий.

Важным аспектом перспективного развития систем мониторинга на базе волоконной оптики можно назвать также возможность научно-практического изучения многих строительных задач. В частности, при помощи таких систем можно получать систематическое накопление информации о сложной структуре и свойствах железобетона, а также участвовать в диалоге «строитель-проектировщик-архитектор» с точки зрения получения реально измененных параметров конструкции, которые следует учитывать при разработке новых нестандартных решений.

Благодарности

Авторы данной работы считают необходимым отметить следующее. Такой масштабный проект, как установка системы мониторинга на базе волоконной оптики на сложном строительном объекте, не мог быть реализован без активной поддержки и безукоризненного взаимодействия целого ряда организаций и специалистов. В связи с этим авторы выражают искреннюю благодарность организациям и фирмам, чье участие и помощь сделали возможным реализацию данного проекта: концерн «МонАрх», ЗАО «АСМИ», ОАО «МонАрх-АМЦ», ИТТ-Korea Co., Ltd., а также сотрудникам кафедры МГрОиФ Московского государственного строительного университета.

ООО «Мониторинг-Центр»
Тел.: (495) 673-4038
E-mail: alexey_18@mocent.ru
www.mocent.ru

Используемая литература

1. Егоров Ф.А., Неугодников А.П., Поспелов В.И. «Контроль и диагностика параметров строительных сооружений с помощью волоконно-оптических систем мониторинга», Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика, №6, 2006.
2. Егоров Ф.А., Ткачев О.И., Неугодников А.П., Рубцов И.В., Поспелов В.И., «Волоконно-оптический датчик деформаций», Технологии строительства №3, 2005.
3. Егоров Ф.А., Неугодников А.П., Поспелов В.И., Цаценко И.А., Ткачев О.И., Калашникова С.А., Аркин Г.О., Белов М.М., «Контроль деформаций железобетонных конструкций при помощи волоконно-оптических датчиков амплитудного типа», Технологии строительства №1, 2006.
4. "Growing Market Acceptance for Fiber-Optic Solutions in Civil Structures", Th. Graver, D. Inaudi, Optics East Conference, Boston, USA, October 23-26 (2005).
5. "Monitoring of building columns during construction", Branko Glisic, Daniele Inaudi, Kee Ching Hoong, Joo Ming Lau, 5th Asia Pacific Structural Engineering & Construction Conference (APSEC), 26-28 August 2003, Johor Bahru, Malaysia (2003).
6. "Lessons learned in the use of fiber optic sensor for civil structural monitoring", D. Inaudi, N. Casanova, S. Vurpillot, B. Glisic, P. Kronenberg, S. Lloret, The Present and the Future in Health Monitoring, Bauhaus-Universit...(?), Weimar, Germany, Edifictio publisher (2000).
7. "Bridge monitoring by fiber optic deformation sensors: design, emplacement and results", S. Vurpillot, D. Inaudi, J.-M. Ducret, SPIE, Smart Structures and materials, San Diego, USA, Vol 2719, p. 141-149, 1996.