

Ледовый дворец «Уральская молния» имени шестикратной олимпийской чемпионки Лидии Павловны Скобликовой введен в эксплуатацию 28 декабря 2004 года. Вслед за крытым катком спортивного комплекса «Крылатское» в Москве, который был запущен в сентябре 2004 года, «Уральская молния» — второй спортивный комплекс в России, где есть стандартная 400-метровая конькобежная дорожка с искусственным льдом под крышей.

Ледовый дворец «Уральская молния» «Говорит и показывает» мониторинг

Технические возможности катка позволили в 2005 году провести Чемпионат России среди взрослых и в 2006 году — Первенство России среди юниоров на высоком уровне. Так, 9–10 февраля 2006 года челябинская юниорка Екатерина Малышева установила новые рекорды России по многоборью и дистанциям. Уникальность и значимость «Уральской молнии» выходит далеко за пределы Челябинска и Урала. Спортивное сооружение такого уровня и класса — несомненно, ценность российского масштаба. Неслучайно, в мае 2005 года, спустя полгода после открытия, ледовый дворец посетили Владимир Путин и Нурсултан Назарбаев.

Конструкция ледового дворца, разработанная специалистами института ЗАО «ЧелябГПСК», представляет собой смелое инженерное решение — индивидуальный проект, индивидуальный рас-

«Площадь ледовой арены дворца — 11 тыс. 877 м², а общая — более 23 тыс., — говорит главный инженер ОГУ «Уральская молния» Анатолий Старцев. — В нем могут одновременно находиться 1650 зрителей. Здесь проходят ответственные соревнования общероссийского уровня» (Интернет-портал «Южно-уральская панорама», 08.11.2008, Е.Е. Аникиенко.)

чет, вокруг которого было много споров. Но он прошел несколько экспертиз, в том числе и московских, и был принят.

Сложность работы над проектом заключалась в том, что при размерах 84 × 198 м здание дворца не должно было иметь промежуточных опор, то есть колонны могли располагаться только по периметру. Требовалось запроектировать быстровозводимое, легкое здание с минимально возможной стоимостью. В результате поисков было найдено оригинальное решение, при котором верхний пояс арки собирался из коротких прямолинейных балок, а нижний пояс

«Учитывая уровень ответственности сооружения такого класса и его новизну, нами организован инструментальный геодезический мониторинг, отслеживающий техническое состояние основных несущих конструкций, их деформации при различных нагрузках. Этот мониторинг продолжается и после строительства и будет проводиться в течение нескольких лет. (С.П. Шерстюк, генеральный директор ЗАО «ЧелябГПСК»)

натягивался, объединяя их в единую жесткую конструкцию. Расчеты выполнялись по двум независимым программным комплексам с использованием компьютерного моделирования. Запроектированная конструкция изготавливалась в заводских условиях. Она отвечает заданным требованиям, масса составляет меньше 100 кг на 1 м² площади, количество сварных соединений минимальное.

Уникальность конструкции ледового дворца и чрезвычайно важные вопросы обеспечения безопасности (в месяц «Уральскую молнию» посещают до 40 тыс. чел.) побудили руководство спортивного сооружения озаботиться вопросами контроля надежности конструктивных элементов в режиме реального времени. За рубежом подобная практика распространяется довольно активно: системы мониторинга в непрерывном режиме времени — довольно привычная вещь для многофункциональных сооружений и спортивных комплексов. Так, в 2007 году в Канаде, в спортивном ледовом комплексе «Метро-Центр» в Галифаксе, была установлена система мониторинга конструкции крыши, в составе которой присутствует современная система на базе волоконно-оптических датчиков.

«Владельцы «Метро-Центра» в Галифаксе решили провести обследование конструкции крыши для эффективного отслеживания реальных снеговых нагрузок и наблюдения за текущими нагрузками. Основываясь на этих предпосылках, была установлена комплексная Система конструктивного мониторинга, состоящая из волоконно-оптических датчиков и блока ROBOVEC, обеспечивающая получение информации о состоянии конструкции крыши в реальном времени. (3-DEMOMONITORING PLATFORM: EXAMPLES OF APPLICATIONS IN STRUCTURAL AND GEOTECHNICAL MONITORING PROJECTS, Luca MANETTI, Daniele INAUDI and Branko GLISIC, 13 FIG Symposium of Deformation Measurement and Analysis, 2008, May)

Соответствующие публикации показали надежность и точность этой системы при ее использовании в качестве инструмента обеспечения безопасности.

Исходя из условий нестандартной конструкции, сложных климатических условий (большую роль в формировании суммарных нагрузок для ледового дворца играют ветровые и снеговые нагрузки,

весьма существенные на Урале), дирекция «Уральской молнии» объявила конкурс на разработку системы мониторинга соответствующего уровня, способной точно и своевременно отслеживать реальные нагрузки. Победителем конкурса стал Челябинский институт ЗАО «ЧелябГПСК». После тщательного анализа существующих систем контроля и мониторинга, имеющихся в России и за рубежом, выбор был сделан в пользу системы на базе волоконно-оптических датчиков ЗАО «Мониторинг-Центр».

«ЗАО «Мониторинг-Центр» — научно-производственное предприятие, специализирующееся в области строительного мониторинга. Базой для создания ЗАО «Мониторинг-Центр» послужили научно-технический потенциал ведущих российских физиков — специалистов в области контрольно-измерительных систем нового поколения — и накопленный практический и теоретический опыт ученых-строителей. За последние годы системы мониторинга ЗАО «Мониторинг-Центр» установлены на следующих объектах: Многофункциональный жилой комплекс (Сергиев Посад, 2005), 36-этажный офисный блок многофункционального комплекса «МонАрх-Центр» (Москва, 2006), Многофункциональный комплекс SIEMENS-АФК «Система» (Москва, 2007), ММДЦ «Москва-Сити», участок №15 (Москва, 2007), и др. (сайт www.mocent.ru)

Критерии выбора системы мониторинга были сформулированы достаточно жестко. Установленная сразу после постройки ледового дворца система геодезического мониторинга давала достаточно точные данные и являлась проверенным, изученным инструментом контроля. Однако новое конструктивное решение, ряд уникальных технических и технологических решений при создании «Уральской молнии» потребовали разработки более совершенной, более точной и, в конечном итоге — более современной системы мониторинга.

Первое требование: система должна работать в непрерывном режиме. Только в случае непрерывной регистрации есть возможность определить тренд, обнаружить начало зарождения деструктивного процесса (рост избыточной деформации, накопление сверхнормативного напряжения) задолго до наступления часа «икс», когда свершившаяся авария становится «достоинством» не только датчиков, но и всех окружающих.

Второе требование: погрешность и порог чувствительности датчиков системы мониторинга должны обеспечивать высочайший уровень точности, поскольку малейшее изменение окружающих условий (температура, влажность, давление), вызывают «отклик» элемента конструкции. При этом наблюдателю важно суметь отличить «естественные» колебания деформаций от тех, которые появляются вследствие неравномерных снеговых нагрузок или динамических порывов ветра. Именно поэтому важно наблюдать за поведением конструкции постоянно, в режиме on-line и накапливать информацию в сочетании с наблюдениями за внешними условиями эксплуатации.

Третье требование: система должна обладать максимальным уровнем безопасности как потенциальный источник какой-либо чрезвычайной ситуации. То есть датчики не должны провоцировать никаких внештатных событий (например, перегрузки в сети питания, коротких замыканий и т.д.).

Четвертое требование: система диспетчеризации (программное обеспечение и контактный интерфейс) должна быть легко адаптируема для оператора, иметь четкие понятные и сигнализационные параметры для быстрой реакции в случае внештатной ситуации.

Пятое требование: обслуживание системы мониторинга должно иметь режим установки, обучения и, если требуется, абонентского обслуживания.

После определения вышеназванных критериев, которые, условно говоря, можно отнести к критериям пользовательского уровня, были сформулированы критерии уровня проектировщиков. К этим критериям относятся:

Шестое требование: минимальное количество измерительных узлов (точек, в которых расположены датчики) должно быть соотнесено с максимальным объемом информации, позволяющей контролировать наиболее важные, критические области конструкции.

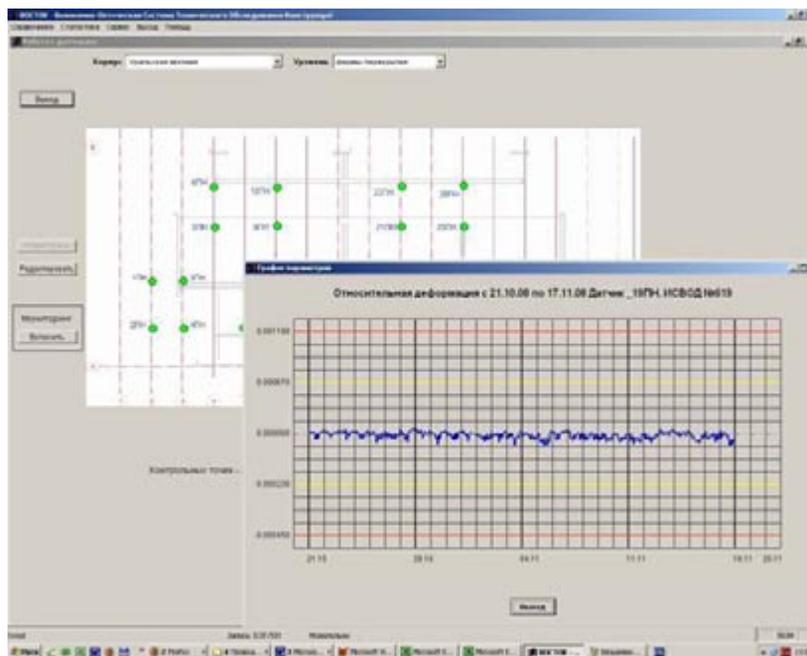
Седьмое требование: данные, полученные в ходе регистрации, должны давать возможность контролировать конструкцию как на локальном уровне, то есть сопоставлять расчетные данные с теми,

«4.3.3. В ходе проведения работ по мониторингу следует проводить систематические наблюдения за:

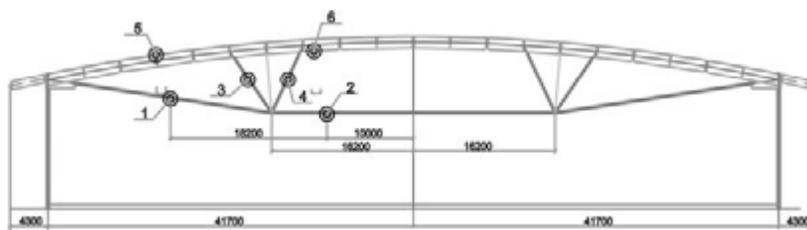
- деформациями отдельных конструкций;
- деформациями отдельных узлов;
- общими деформациями здания.

4.3.4. При проведении длительных наблюдений необходимо предусмотреть и обеспечить стабильность системы наблюдений и параметров измерительных устройств при изменениях в окружающей среде (температуры, влажности и т.д.)»

(Пособие по научно-техническому сопровождению и мониторингу строящихся зданий и сооружений, в том числе большепролетных, высотных и уникальных. МРДС 02-08, правительство Москвы, Росстрой, 2008)



Рабочий экран ПК «ВОСТОК» на ледовом дворце «Уральская молния»



«При размещении датчиков акцент был сделан на те зоны конструкции крыши, которые традиционно испытывают максимальную нагрузку от снега. Именно в этих местах арочных ферм было установлено наибольшее количество датчиков в системе мониторинга, включающей в себя 34 измерительных узла.»

которые «наблюдает» система мониторинга, так и на глобальном — то есть полученный массив данных от всех датчиков должен быть достаточен, чтобы оценить работу всей конструкции в целом.

Наконец, последнее требование из разряда «оптимальных». Систему нужно смонтировать и настроить в кратчайшие сроки. Этим **требованием №8** общий блок критериев выбора системы мониторинга замыкается.

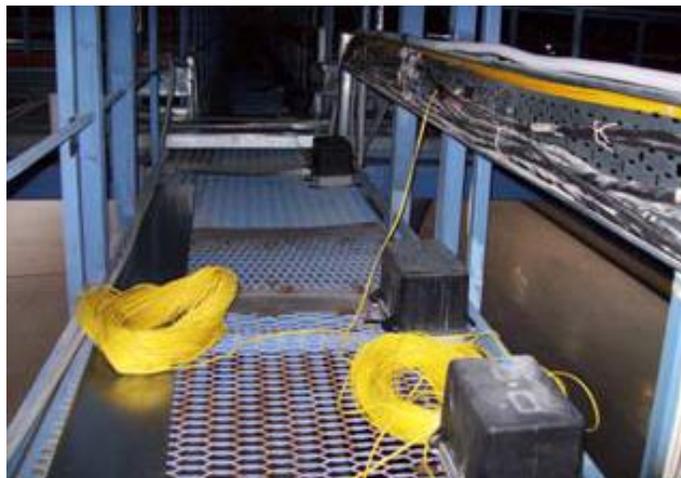
Система мониторинга на базе волоконно-оптических датчиков деформаций разработки ЗАО «Мониторинг-Центр» была выбрана именно потому, что всем перечисленным требованиям она, безусловно, удовлетворяет. Чувствительность датчиков, регистрирующих деформации (сжатие или растяжение), измеряется тысячными долями миллиметра, оптоэлектронный блок, который посылает и принимает сигнал от сенсора, а также передает данные на компьютер, регистрирует данные каждый час. С точки зрения безопасности эксплуатации волоконно-оптические датчики являются самыми

предпочтительными, поскольку в сенсорном элементе полностью отсутствует электрический ток, а принцип преобразования, благодаря которому регистрируется изменение деформации, базируется на параметрах световой волны. Поэтому датчики абсолютно взрыво- и пожаробезопасны. Кстати, именно факт отсутствия электрического тока и электромагнитных полей в самом сенсоре и транзитных каналах (оптоволоконный кабель) позволяет сигналу, снятому с датчика, оставаться абсолютно неискаженным. Другими словами, все внешние электромагнитные поля, которые всегда присутствуют в современном, напичканном различной аппаратурой здании, никак не влияют на показания волоконно-оптических датчиков. Таким образом, можно сказать, что эксплуатационно-метрологические характеристики волоконно-оптических датчиков выгодно отличаются от традиционных.

Система ЗАО «Мониторинг-Центр» включает в себя программное обеспечение собственной разработки ПК «ВОСТОК» (Программный комплекс



Волоконно-оптический датчик деформаций на арочной ферме



Монтаж транзитной системы передачи данных в диспетчерский пункт



Монтаж датчиков с автовышки



В.А. Быковский производит настройку чувствительного элемента на датчике

«Волоконно-оптическая система технического обследования конструкций»). После установки ПК «ВОСТОК» на экране диспетчера появляется схема расположения датчиков в привязке к схеме объекта, каждый из датчиков отображается в виде цветного кружка: зеленый — деформации в норме, желтый — деформации достигли 1-го порогового значения (предупреждение), красный — деформации достигли 2-го порогового уровня (тревога). При этом есть возможность вывести на экран временную развертку (график) конкретного датчика, также с указанием уровней «норма», «предупреждение», «тревога». Простой и функциональный сервис по обслуживанию программы позволяет быстро обучиться обслуживающему персоналу и однозначно среагировать в экстренной ситуации.

Абонентское, а также сервисное обслуживание при поставке систем мониторинга ЗАО «Мониторинг-Центр» входят в стандартный пакет услуг, но в данном случае ситуация была несколько более нестандартная, чем обычно. Дело в том, что физический принцип и техническое исполнение системы мониторинга ЗАО «Мониторинг-Центр» разработаны тремя выпускниками

спецшколы-интерната ФМШ №18 при МГУ (ныне Специализированный учебно-научный центр им. А.Н. Колмогорова). В далеком 1977 году А.П. Неугольников и В.А. Быковский, прибывшие в Москву из Каменска-Уральского, встретились с Ф.А. Егоровым, который приехал учиться в московскую физико-математическую школу из Чувашии. Спустя годы одноклассники встретились вновь, после долгих лет самостоятельной профессиональной жизни (А.П. Неугольников после окончания МГУ им. М.В. Ломоносова работал в Вертолетном научно-техническом комплексе им. Н.И. Камова, В.А. Быковский — выпускник МИСИС — трудился на ПО «Октябрь» в Каменске-Уральском, а Ф.А. Егоров, закончив МФТИ, продолжил научную деятельность в Институте радиотехники и электроники РАН). В результате появилось научно-производственное предприятие «Мониторинг-Центр». После того как была разработана волоконно-оптическая система строительного мониторинга, а датчики запатентованы и сертифицированы, в Каменске-Уральском открылся Уральский филиал «Мониторинг-Центр», где датчики выпускаются серийно. Именно там были изготовлены датчики для «Уральской

молнии». И именно сотрудники Уральского филиала смонтировали систему и осуществляют ее сервисное сопровождение. Волоконно-оптическая система мониторинга на ледовом дворце в Челябинске — «первая ласточка» систем контроля нового поколения строительных сооружений на Урале. И знаменателен тот факт, что среди ее авторов — выходцы с Урала.

Теперь о разработке конкретной системы мониторинга. В очень сжатые сроки — четыре месяца — система была разработана и смонтирована на объекте. В течение первых двух месяцев шло проектирование системы. Эта работа выполнялась ЗАО «Мониторинг-Центр» в тесном сотрудничестве с проектировщиками ледового дворца — ЗАО «ЧелябПСК», что неудивительно, поскольку именно проектировщики столь уникального сооружения обязаны оценить все важные зоны контроля, определить расчетные параметры предельных значений. Работчики системы мониторинга, со своей стороны, определяют решения по адаптации системы для конкретного сооружения, а также технологии монтажа, разработку программы мониторинга и анализа измерений.



В диспетчерском пункте. Слева направо: генеральный директор ЗАО «ЧелябПСК» С.П. Шерстюк; директор Уральского филиала ЗАО «Мониторинг-Центр» В.А. Быковский; начальник отдела ЗАО «ЧелябПСК» Д.В. Главинский



Ноябрь 2008. «Уральская молния» под контролем Системы мониторинга на базе волоконно-оптических датчиков деформаций

Непосредственно монтаж системы мониторинга происходил в течение двух месяцев — сентябрь-октябрь. Задача осложнялась тем, что сдвинуть сроки было нельзя, так как запуск и апробация системы должны были обязательно пройти в ноябре, до первых отрицательных температур и появления снега. При этом монтаж можно было вести только с 23-00 до 6-00, поскольку днем ледовый дворец работает и в будни, и в выходные, с очень плотным потоком посетителей. Трудности монтажа датчиков, главным образом, определялись тем, что работать пришлось с автовышки, как принято называть автомобильный гидравлический подъемник, в люлке которого нужно было разместиться монтажнику, набору инструментов и датчику с внушительной бухтой волоконно-оптического кабеля. Предварительно в местах установки датчиков специалисты ЗАО «ЧелябПСК» закрепили посадочные пластины в строго выверенных допусках, не превышающих 0,1 мм. Затем уже на эти пластины монтажники Уральского филиала ЗАО «Мониторинг-Центр» устанавливали датчики, корректируя их геометрическое положение для задания проектного статуса чувствительного элемента. Другими словами, при установке каждого датчика после его закрепления производилась тщательная аппаратная настройка с тем, чтобы датчик одинаково эффективно мог почувствовать как растяжение, так и сжатие контролируемого элемента.

После монтажа датчиков и прокладки кабеля (в общей сложности для транзитных линий связи потребовалось уложить 5 км кабеля) наступил завершающий момент: оборудование диспетчерского пункта. Со всех 34 измерительных узлов, в которых расположены датчики, волоконно-оптические кабели были выведены на компьютер диспетчерского пункта, который разместили на втором этаже ледового дворца рядом с пресс-центром. Если переходить к техническим подробностям, то следует отметить, что сигнал

от датчика, прежде чем попасть непосредственно в компьютер и высветиться на мониторе, проходит через оптоэлектронный блок — измеритель сигналов волоконно-оптических датчиков, так называемый ИСВОД. У каждого датчика свой ИСВОД. Функции ИСВОДа напоминают обязанности переводчика: сначала в этот оптоэлектронный блок попадает электрический сигнал, который преобразуется в световой импульс, а световой импульс пересылается к чувствительному элементу датчика. Затем, после получения информации от датчика, световой импульс возвращается в оптоэлектронный блок, расшифровывается, преобразуется в цифровое значение, и после этого посылается на компьютер. В ре-

«Всего в Челябинской области работает свыше 250 объектов с одновременным массовым пребыванием людей. Среди них дворцы спорта, театры, развлекательные комплексы. 68 объектов из этого перечня, в силу уникальности конструкции, требуют к себе повышенного внимания. В настоящее время проводятся их регулярные обследования с целью уточнения безопасности их дальнейшего использования.»

Система мониторинга, установленная в «Уральской молнии», будет рекомендована к использованию на других уникальных объектах Южного Урала, в первую очередь, в строящемся ледовом дворце «Трактор». (Сайт министерства по радиационной и экологической безопасности Челябинской области. Архив новостей, 7 ноября 2008 г.)

зультате диспетчер на экране видит схему конструкции крыши с четкими уровнями безопасности (зеленый, желтый, красный) и цифровые значения контролируемой информации. Весь сложный многоступенчатый путь, который проделывает каждый час световой импульс, и все трудности «перевода», который осуществляют оптоэлектронные блоки ИСВОДы с каждым из 34-х датчиков, остаются «за кадром». Диспетчер видит главное — текущую деформацию основных контрольных элементов крыши. Каждый час

информация поступает в диспетчерский пункт и регулярно записывается в соответствующие таблицы, а также фиксируется на графиках.

Значение мониторинга конструкции в постоянном режиме не ограничивается исключительно задачей оповещения служб эксплуатации о надвигающейся чрезвычайной ситуации, когда накопление неблагоприятных деформаций происходит постоянно с нарастающим итогом. Безусловно, сигнал тревоги, предупреждающий об аварии, — самая главная задача. Но есть еще ряд важных аспектов необходимости системы мониторинга, и не только на ледовом дворце «Уральская молния». Проектировщикам важно знать, как ведет себя конструкция летом и зимой, как она «дышит», например, даже в суточном цикле. Во время эксплуатации важно видеть, какие элементы можно с уверенностью подвергать дополнительным нагрузкам (например, повесить массивное осветительное оборудование), а какие — лучше «не прыгать». Кроме того, каждое строительное сооружение имеет график плановых обследований и ремонтов. Система мониторинга, ежечасно фиксируя состояние конструкции, позволит заранее принять решение о внеплановом ремонте (если присутствуют факты «износа» контрольных элементов, по данным мониторинга) или, напротив, провести ограниченный ремонтный цикл (в случае удовлетворительных данных мониторинга). Наконец, ведение журнала регулярных регистраций состояния контролируемой конструкции — это фактически составление «Паспорта здоровья» конкретного сооружения, который будет единственным достоверным документом, свидетельствующим о реальной надежности и степени амортизации сооружения спустя 50, 70, 100 лет. Стало быть, система мониторинга — это инструмент безопасности, надежности и разумного экономического подхода в современном строительстве.