

СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ДВОРЦА СПОРТА «МЕГАСПОРТ»

С.Г. Гаврилов (ГУП «Мосгоргеотрест»)

В 1982 г. окончил геодезический факультет МИИГАиК по специальности «прикладная геодезия». После окончания института работал на кафедре прикладной геодезии МИИГАиК, с 1996 г. — в ЦПГ «Терра-Спейс». С 1999 г. работает в ГУП «Мосгоргеотрест», в настоящее время — начальник отдела основных геодезических работ. Кандидат технических наук, доцент.

К.В. Шаров (ГУП «Мосгоргеотрест»)

В 2002 г. окончил геодезический факультет Московского государственного университета геодезии и картографии (МИИГАиК) по специальности «прикладная геодезия». С 2001 г. работает в ГУП «Мосгоргеотрест», в настоящее время — начальник сектора эксплуатации измерительных систем отдела основных геодезических работ.

А.Г. Ананьева (ГУП «Мосгоргеотрест»)

В 1985 г. окончила геодезический факультет Московского института инженеров землеустройства (в настоящее время — Государственный университет по землеустройству) по специальности «прикладная геодезия». После окончания института работала в ГУП «Мосгоргеотрест», с 1995 г. — в АОФ «ПСФ «Каналсестрой». С 2000 г. работает в ГУП «Мосгоргеотрест», в настоящее время — инженер 1-й категории отдела основных геодезических работ.

И.Б. Ефремова (ГУП «Мосгоргеотрест»)

В 1987 г. окончила геодезический факультет МИИГАиК по специальности «прикладная геодезия». После окончания института работает в ГУП «Мосгоргеотрест», в настоящее время — начальник сектора камеральных работ отдела основных геодезических работ.

Е.Ю. Крюков (ГУП «Мосгоргеотрест»)

В 2000 г. окончил факультет кибернетики Московского инженерно-физического института (в настоящее время — Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ») по специальности «инженер-математик». С 1998 г. работал в Московском земельном комитете. С 2000 г. работает в ГУП «Мосгоргеотрест», в настоящее время — начальник сектора администрирования отдела информатизации и технологии производства.

О.Ю. Туркевич (ГУП «Мосгоргеотрест»)

В 2002 г. окончил факультет автоматизированных систем управления Военного университета связи (в настоящее время — Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного, Санкт-Петербург) по специальности «автоматизированные системы обработки информации и управления». В 2014 г. окончил Институт коммуникативных технологий по специальности «прикладная информатика». С 2002 г. работает в ГУП «Мосгоргеотрест», в настоящее время — инженер 1-й категории сектора администрирования отдела информатизации и технологии производства.

Дворец спорта «Мегаспорт» на Ходынском бульваре был введен в эксплуатацию в 2006 г. (рис. 1). Это современное многофункциональное спортивное сооружение. Одной из конструктивных особенностей подобных сооружений является устройство их кровли —



Рис. 1
Внешний вид дворца спорта «Мегаспорт»

в зрительном зале не могут быть размещены элементы, поддерживающие кровлю, а ее площадь очень большая. Кровлю Дворца спорта «Мегаспорт» можно сравнить с огромным «зонтиком», диаметром около 100 м, купол которого обращен внутрь помещения. Внешняя часть кровли обрамлена металлическим опорным кольцом, которое опирается на верхнюю грань несущей стены здания в форме «стакана», обрамленную бетонным опорным кольцом. Из-за изменений нагрузки и температуры меняется диаметр металлического опорного кольца кровли и степень натяжения несущих балок кровли (спиц «зонтика»), в результате центральная точка кровли перемещается по вертикали (рис. 2). Кроме того, массивная кровля подвержена и другим деформациям. Для того, чтобы они не оказывали влияния на несущие конструкции здания, кровля не связана жестко с каркасом здания и имеет возможность смещения в горизонтальной плоскости относительно бетонного опорного кольца.

В соответствии с принятыми правилами эксплуатации на подобных сооружениях должны вестись наблюдения за деформациями — осуществляться мониторинг деформационных процессов. Во Дворце спорта

«Мегаспорт» функционирует автоматизированная система мониторинга, контролирующая физические параметры его несущих конструкций. Помимо этого, необходимо располагать информацией об изменении геометрических размеров отдельных элементов здания или его деформациях. Очень важно

контролировать изменения положения несущих конструкций сооружения по высоте. Также представляет интерес информация о степени деформации кровли. На значительных по размеру сооружениях деформации измеряют геодезическими методами. Для этого на сооружении размещают контрольные точки (деформационные марки) и измеряют их пространственное положение (координаты и высоты) с погрешностями в несколько миллиметров. По изменению значений координат и высот контрольных точек между отдельными циклами наблюдений делают вывод о деформациях объекта в целом.

▼ **Мониторинг деформаций традиционными геодезическими методами**

В работах по мониторингу деформационных процессов Дворца спорта «Мегаспорт»

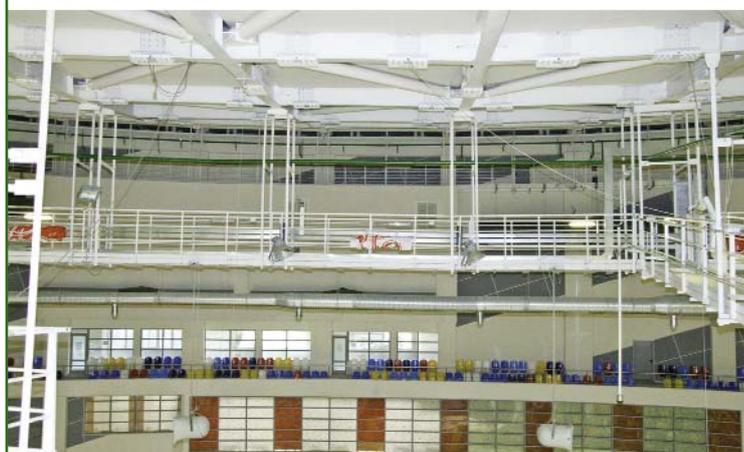


Рис. 2
Общий вид кровли со стороны улицы (вверху) и со стороны зрительного зала (внизу)



Рис. 3

Геодезические измерения с помощью электронного тахеометра

принимали участие специалисты отдела основных геодезических работ ГУП «Мосгоргеотрест». Часть работ по мониторингу осадок несущих конструкций и деформаций кровли выполнялась традиционными геодезическими методами. Для этого требовалось заложить деформационные марки. Для контроля вертикальных перемещений часть марок закладывалась в наружные стены



Рис. 4

Антенна AS10GNSS — датчик пространственного смещения

сооружения. Эти марки представляют собой Г-образные металлические штыри со сферической головкой, выступающие из стен на несколько сантиметров, чтобы на них можно было устанавливать нивелирные рейки. Внутри здания применялись осадочные марки другого типа — со съёмным сердечником. Высоты всех марок определялись методом высокоточного геометрического нивелирования.

Для контроля расширения опорного кольца кровли деформационные марки закреплялись внутри помещения. В каждом контролируемом узле устанавливалось по три марки в одной вертикальной плоскости: вблизи оголовка несущей колонны, на бетонном и металлическом опорных кольцах. Доступ к конструктивным узлам сооружения, расположенным под крышей стадиона, был затруднен. Поэтому для контроля деформаций таких элементов в качестве марок использовались светоотражающие пластины (катафоты). С помощью высокоточных электронных тахеометров измерялись горизонтальные и вертикальные углы и расстояния на эти марки, вычислялись их координаты и высоты, а затем деформации узлов сооружения. Места установки электронного тахеометра для контроля деформаций опорного кольца кровли выбирались в проходах зрительного зала (рис. 3).

Для получения информации о пространственном положении деформационных марок все они включаются в единую геодезическую сеть специального назначения. В этой сети по определенному графику выполняют циклы наблюдений, вычисляя разности координат и высот деформационных марок между циклами, которые и характеризуют деформации объекта. Во Дворце спорта «Мегаспорт» деформационные марки распола-

гались на улице (на пандусах и колоннах балкона), во внутренних помещениях, на отметке 0,00 м, на техническом этаже комплекса, на отметке $-3,45$ м, и на опорном кольце кровли. Они были объединены в единую и весьма сложную геодезическую сеть. Она включала в себе два фрагмента: марки, деформации которых определялись геометрическим нивелированием, и марки, деформации которых определялись построением линейно-угловой сети.

С июля по ноябрь 2008 г. было выполнено четыре цикла измерений пространственных деформаций, а в апреле 2011 г. и январе 2013 г. — по одному циклу наблюдений за осадками.

▼ Автоматизированная система дистанционного мониторинга деформационных процессов

В 2009 г. ГУП «Мосгоргеотрест» приступил к созданию Базовой региональной системы навигационно-геодезического обеспечения города Москвы на основе ГЛОНАСС/GPS (СНГО Москвы) — <http://sngo.mgmt.ru>. Эта система обеспечивает измерение пространственного положения объектов с погрешностями в несколько миллиметров, что открывает новые возможности мониторинга деформационных процессов. Часть приемников ГНСС устанавливают на контролируемом объекте, другие — находятся на исходных неподвижных точках — станциях СНГО Москвы. Расстояние между исходными точками и объектом мониторинга может достигать нескольких километров, прямая видимость между ними не требуется, измерения могут выполняться в любое время суток и при любой погоде. Процесс измерений полностью автоматизирован и исключает «человеческий фактор». При этом деформации можно определять с погрешностями в несколько миллиметров.

Помимо этого появились приборы для измерения изменений углов наклона — инклинометры, или датчики углов наклона. Датчики монтируют на контролируемых элементах, подключают к сети электропитания и к информационной сети, и с высокой точностью фиксируют изменения углов наклона этого элемента в двух плоскостях. Управление датчиками осуществляется с помощью специальной программы, круглосуточно формирующей на сервере результаты измерений. Программа, получая данные с датчиков, автоматически вычисляет деформации, сравнивает их с допустимыми значениями и предоставляет пользователям сводную информацию о результатах мониторинга, а в случае превышения допустимых значений информирует об этом уполномоченных специалистов организации, эксплуатирующей объект.

В ноябре 2008 г. отдел основных геодезических работ ГУП «Мосгоргеотрест» приступил к созданию автоматизированной системы дистанционного мониторинга деформационных процессов Дворца спорта «Мегаспорт» как дополняющей систему мониторинга деформаций геодезическими методами. На первом этапе в ее состав входили 4 приемника ГЛОНАСС/GPS Leica GMX902 с антеннами AS10GNSS, которые играли роль датчиков пространственных смещений (рис. 4), и 13 датчиков углов наклона (инклинометров) Leica Nivel 210 и Leica Nivel 220. Антенны спутниковых приемников были установлены на отметке +42,350 м, на оголовках четырех несущих колонн, выходящих на крышу здания и расположенных в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Спутниковые приемники и преобразователи информационных сигналов были размещены в специальных боксах и закреплены на ограждении крыши.



Рис. 5
Датчик углов наклона, закрепленный на балке кровли с помощью специального кронштейна

Девять датчиков углов наклона Leica Nivel 220 были закреплены внутри помещения на несущих балках кровли. Для этого отделом механизации ГУП «Мосгоргеотрест» были разработаны и изготовлены специальные кронштейны, позволяющие монтировать их на балке с переменным продольным профилем и не нарушать ее целостность (рис. 5). С помощью этих датчиков контролируют величину деформации кровли. Для монтажа кабельной системы и датчиков углов наклона привлекались промышленные альпинисты.

Четыре датчика углов наклона Leica Nivel 210 были установлены в подвале здания на отметке -3,450 м, у основания несущих колонн.

Управляющий сервер был размещен в специальной стойке, в помещении вентиляционной камеры, на отметке +35,80 м. Расстояния между сервером и отдельными датчиками достигали 222 м, поэтому для обеспечения возможности передачи информации между ними специалистами отдела основных геодезических работ и отдела информатизации и технологии производства ГУП «Мосгоргеотрест» была создана обособленная от других систем дворца спорта информационная сеть. Она состоит из сегментов волоконно-оптических и медных кабелей, а также необходимого сетевого оборудования. Через сеть Ин-

тернет к серверу системы мониторинга подключены рабочие станции операторов в здании ГУП «Мосгоргеотрест».

Таким образом, управление отдельными датчиками и системой в целом, а также контроль результатов, осуществляются с использованием информационных каналов с рабочих мест операторов, находящихся на значительном удалении от объекта мониторинга.

В 2012 г. в состав системы была включена подсистема высокоточного гидростатического нивелирования, состоящая из 8 датчиков FPM ASW 101N (рис. 6). Величина перемещения датчика в вертикальном направлении определяется автоматически и передается в блок управления подсистемой, а затем на сервер.

Для обработки и представления результатов мониторинга пользователям специалисты отдела информатизации и технологии производства ГУП «Мосгоргеотрест» разработали специальное программное обеспечение. С его помощью измерительная информация, поступающая с датчиков, автоматически попадает в единую базу данных, и вычисляются текущие деформации между циклами наблюдений. Результаты мониторинга в виде таблиц и графиков размещаются на защищенной странице Интернет-сайта — <http://sdm.mggt.ru>. Доступ к ней предоставляется только опе-



Рис. 6
Датчик подсистемы гидростатического нивелирования

