

# НЕПРЕРЫВНЫЙ МОНИТОРИНГ МОСТОВОГО ПЕРЕХОДА ЧЕРЕЗ БУХТУ ЗОЛОТОЙ РОГ

**Представлен вариант практического использования дистанционного комплексного метода мониторинга при возведении пилонов мостового перехода через бухту Золотой Рог. Приведен анализ недостатков использования только традиционных геодезических методов контроля.**

## Краткий обзор

Замысел строительства моста через бухту Золотой Рог появился еще в конце XIX века, но реализовать его удалось лишь в наши дни. Этот мостовой переход является завершающим этапом автомобильной магистрали аэропорт Кневичи — ст. Санаторная, которая будет использоваться как гостевой маршрут делегаций стран — участниц саммита АТЭС — 2012 во Владивостоке. Она соединит кратчайшим путем центральную часть города с перспективным районом — полуостровом Голдобина и обеспечит выход к мосту на остров Русский через пролив Босфор Восточный.

Задуманный и реализуемый таким образом проект вантового мостового перехода через бухту Золотой Рог впечатляет. Он будет иметь длину 1387,0 м и ширину 28,5 м, высота его пилонов составит 226 м. Погодные условия в зоне возведения мостового перехода также готовят массу неприятных подарков строителям: плотные туманы, частые внезапные шкальные осадки, сопровождаемые сильным ветром до 15–20 м/с. Следует отметить, что нижняя граница облачности, как правило, располагается на высоте около 70–80 м.

Применение только традиционных методов геодезических измерений с использованием электронно-оптических приборов в сложившихся условиях не обеспечивает высокую скорость, достоверность и синхронность измерений, так чтобы контролировать процесс возведения опор моста с заданной проектом точностью. Кроме того, на пространственное положение возводимых пилонов существенное влияние оказывает резкий нагрев их поверхностей под воздействием солнечного излучения. Под влиянием солнечной радиации опоры совершают движение по эллипсообразной кривой, его сопровождают порывы ветра и работа грузоподъемных механизмов. Низкая граница облачности, частые туманы, а значит потеря оптической видимости, значительная рефракция в солнечную погоду и возможность ошибки при ручной обработке данных затрудняют применение оптико-электронных геодезических инструментов (электронных тахеометров) для определения текущих наклонов.

Для устранения влияния выше приведенных факторов специалистами ЗАО «Институт Гипростроймост — Санкт-Петербург», ООО «Инжиниринговый центр ГФК», ООО «Мостовое бюро» была разработана и применена автоматизированная система комплексного контроля наклона пилонов. Она предназначена для определения и учета наклонов возводимых пилонов №8, 9 по двум осям (X, Y) в автоматическом режиме и расчета поправок координат проекта для выноса на натуру.

## Ключевые особенности

В последние десятилетия именно в связи с развитием микропроцессорной техники появилась возможность использовать достижения в этой области для создания технических систем непрерывного мониторинга (контроля) за сложными, уникальными инженерными сооружениями, в том числе внеклассными мостами, на различных стадиях их строительства и эксплуатации.

Целевая функция мониторинга — круглосуточно, в непрерывном режиме регистрировать изменения основных параметров состояния несущих конструкций сооружения как реакции на изменение во времени ветрового воздействия, температуры, обрабатываемой по мосту временной нагрузки (при ее наличии) и производить их сравнение с установленными граничными значениями.

Согласно нормам действующего законодательства, автодорожный вантовый мост через бухту Золотой Рог относится к категории внеклассных мостовых переходов. Для данной категории мостовых сооружений в статьях Федерального закона от 30.12.2009 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» определены общие требования к качественному и количественному составу технических средств непрерывного мониторинга. Категория объекта устанавливается согласно статье 48 Градостроительного кодекса Российской Федерации и перечню «Особо опасные, технически сложные и уникальные объекты (введен Федеральным законом от 18.12.2006 № 232-ФЗ).

Следует отметить, что система мониторинга состояния несущих конструкций сооружений (СМИК) в составе структурированной системы мониторинга и управления сооружением (СМИС) входит в объективное звено единой государственной системы

предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС), дежурно-диспетчерской службы ДДС и единой дежурно-диспетчерской службы ЕДДС. Информация системы СМИК о технических параметрах состояния мостового перехода доступна пользователям на всех стадиях жизненного цикла сооружения. При этом в рамках решения поставленных задач комплекса контроля наклона пилонов идеология СМИК моста через бухту Золотой Рог предусматривала создание двух проектов — на период строительства и для постоянной эксплуатации.

Разработанная система включает в себя измерительный комплекс контроля наклона пилонов, средства анализа и учета влияния внешних климатических воздействий. Таким образом, реализуется первая часть идеологии построения системы непрерывного мониторинга — обеспечение этапа строительства мостового перехода.

Система мониторинга состояния конструкций мостового перехода представляет собой симбиоз программно-аппаратных средств, таким образом обеспечивается взаимосвязь инструментальных и интеллектуальных подсистем со следующими функциями:

- визуализация данных о состоянии конструкции с возможностью интеграции в географические информационные системы (ГИС, GIS), с различными формами отчетов о внешних воздействующих силах (условиях);

- сохранение и ведения архива с представлением информации в базах данных и возможностью удаленного доступа к ним (с использованием с web-интерфейса или других технических возможностей);

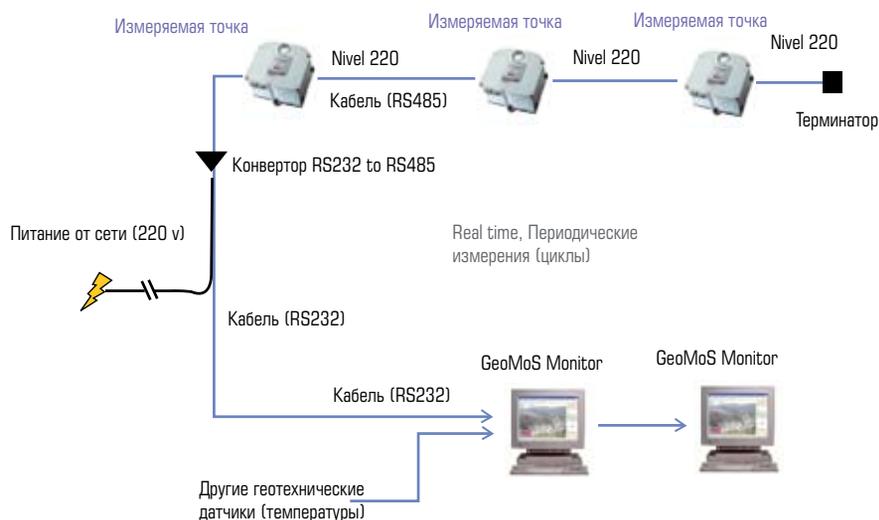
- проведение измерений в режиме реального времени;

- обеспечение сбора, передачи и маршрутизации данных в непрерывных и дискретных режимах;

- анализ данных с использованием накопленных баз данных;

- интеллектуальная система принятия решения (СППР), которая предлагает выполнение ряда действий (операций), основанных на сценариях возможного развития событий.

Все подсистемы хранения, передачи и отображения данных СМИК позволяют предоставить доступ к ним значительному числу пользователей. Вывод данных для пользователя предусмотрен в соответствии с требованиями национального стандарта РФ ГОСТ Р 22.1.12-2005 и методикой монито-



Общий вид и структура системы ККНО



Сигнальный интерфейс системы мониторинга

ринга состояния несущих конструкций зданий и сооружений.

Согласно требованиям методики, критерии оценки изменения состояния мостового перехода в реализованной системе имеют следующие уровни:

- состояние нарушения нормальной эксплуатации соответствует второму предельному состоянию, для которого значения определенных при мониторинге интегральных характеристик несущих конструкций находятся в границах, определенных в паспорте мониторинга для нагрузок и/или воздействий в диапазоне от нормативных до расчетных;

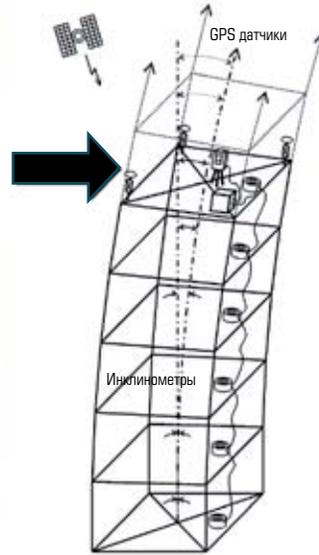
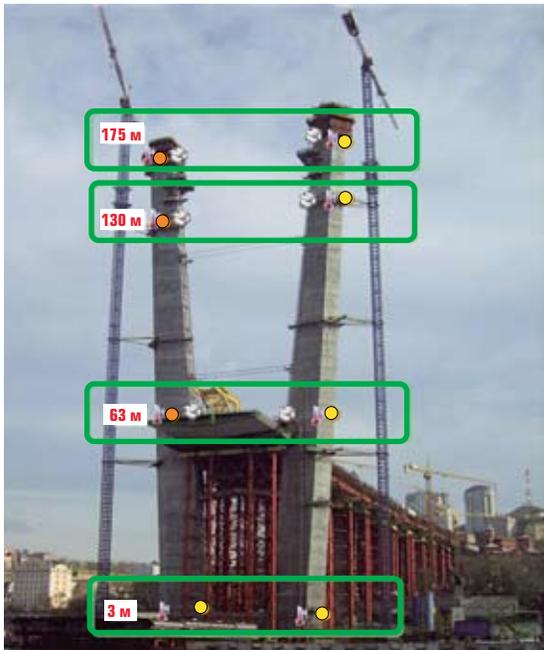
- предаварийное изменение состояния соответствует первому предельному состоянию, когда значения определенных при мониторинге интегральных характеристик несущих конструкций находятся в границах, определенных в па-

спорте мониторинга для нагрузок и/или воздействий, равных или превышающих расчетные.

Отражение данных абстрактных уровней формализовано по каждой точке измерений, они объединены в интегральный показатель, который в пользовательском интерфейсе представлен в виде светофора.

### Основные положения системы

В основе проектирования комплекса контроля наклона опор (ККНО) лежит разработанная в ЗАО «Институт Гипростроймост» программа методики мониторинга (ПММ). В ней приведен перечень измеряемых величин, периодичность измерений, методы математической обработки данных, место проведения измерений.



Расположения измерительных приборов ККНО на опоре № 8



Взаимное расположение коммуникационного оборудования системы ККНО

Для автодорожного вантового моста через бухту Золотой Рог контролю подлежат четыре вида параметров:

- контроль механических напряжений с помощью измерений деформаций конструкций, в общем случае связанных нелинейными зависимостями с механическими напряжениями в элементах;
- контроль перемещений путем наблюдения за деформациями конструкций (углами наклона стоек пилонов, углами поворота в сечениях, перемещением вершин стоек пилонов и середины пролетного строения);
- контроль влияния внешней среды (климатическое воздействие); измерение осуществляется в нескольких наиболее характерных точках и сечениях; регистрируемые параметры: температура, скорость и направление ветра, влажность и т.д.;
- контроль вибраций, который позволяет определить собственные формы колебаний конструкции мостового перехода в целом и ее элементов.

При данных видах наблюдений в каждый момент времени устанавливается фактическое состояние конструкций по отношению к проекту и компьютерной расчетной модели. Состав аппаратных средств ККНО:

- высокоточные инклинометры — двухплоскостные геотехнические датчики наклона Leica Nivel 220;
- высокоточные термодатчики STS для контроля температуры приповерхностного слоя бетона;
- метеостанции на базе датчика Vaisala WXT-520;
- каналы связи, беспроводные и проводные;
- серверы сбора геотехнических и метеорологических данных;
- программное обеспечение сбора и анализа измеряемых данных, установленное на серверах;
- программное обеспечение для создания web-страниц геотехнических измерений и метео данных;
- оборудование аппаратуры энергоснабжения.

Описание работы ККНО: высокоточные инклинометры Leica Nivel 220 установлены, согласно программе расчета конструкций мостового сооружения, на высотных отметках +60, +130, +175 м на стороне пилона, параллельной пролетному строению, так чтобы ось Y располагалась вдоль ось моста. Плановая проектная высота опор моста составит около 226 м. Система ККНО отслеживает про-

цесс постепенной надстройки высоты пилона с установкой сердечника и процесс укладки бетонной смеси с наращиванием длины пролетного строения и постепенной установкой вантовых тросов.

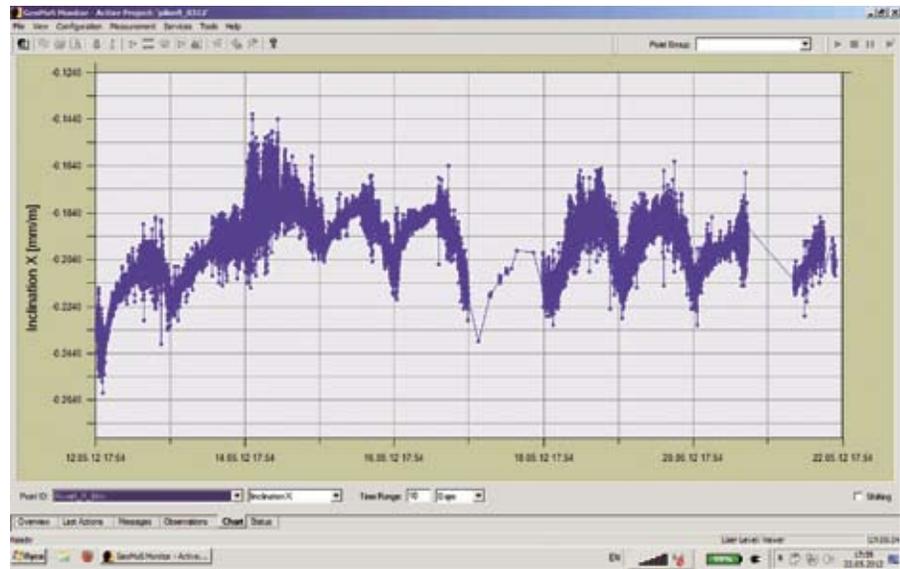
Инклинометр, расположенный на отметке +60 м, был установлен за опорой, так как через нее проходит пролетное строение, каркас которого расположен ниже этой высоты и имеет максимальную жесткость при деформировании и кручении. Поскольку места крепления вант расположены выше отметки +130 м, для возможной установки дополнительных инклинометров по мере увеличения высоты пилонов были выбраны высоты +130 и +175 м. Все эти инклинометры объединены в локальную сеть и подключены посредством каналов связи к серверу сбора геотехнических (геодезических) данных. Опрос инклинометров осуществляется с различной скважностью и настраивается в зависимости от требуемых задач. Максимальная частота опроса — 1 раз за 10 с.

Кроме того, на каждой из вышеназванных отметок и на отметке +3 м с наружной стороны в тело пилона установлены термодатчики STS, которые объединены общей локальной сетью, также подключенной к серверу сбора геотехнических данных. При этом, здесь существует возможность сбора (считывания) информации с различным периодом опроса и по заранее составленному сценарию.

Для определения величины возмущающих метеорологических факторов на пролетном строении установлен метеодатчик (метеосенсор), информация с которого поступает на сервер обработки метеоданных (метеосервер). На метеосервере выделяются значения, которые пересылаются в базу данных системы, также формируются http-страницы, размещаемые на веб-ресурсах. Сервер размещен в офисе филиала ООО «Мостовое бюро» во Владивостоке, который расположен в 400 м от опоры № 8 и в 1100 м от опоры № 9 на другом берегу бухты Золотой Рог.

ККНО использует различные каналы связи, которые обеспечивают надежную передачу данных. Для непрерывного функционирования ККНО в системе энергоснабжения установлены бесперебойные источники питания.

Вся аппаратура собрана в шкафах антивандального исполнения. Для эксплуатации в зимних условиях шкафы



Внешний интерфейс программного обеспечения компании Leica



Пример веб-интерфейса системы ККНО

снабжены системой термостабилизированного электроподогрева.

Ядром ККНО является программа GeoMoS, состоящая из нескольких модулей. Модуль GeoMoS Monitor осуществляет опрос аппаратуры датчиков по определенной временной программе и сохраняет информацию в базе данных SQL на сервере сбора геотехнических данных. Модуль от-

слеживает все возникающие события в ККНО: увеличение любого смещения или координаты до разрыва канала связи, пропадание питания и работу от резервного бесперебойного источника (UPS). При возникновении и регистрации какого-либо события происходит уведомление персонала и ответственных лиц при помощи факсимильных сообщений, SMS-рассылки,

электронных писем или включением исполнительных устройств (светофора, звуковой сирены, шлагбаума). Модуль позволяет производить резервное копирование данных. С помощью дополнительно приобретенной программы эти данные можно периодически посылать на адрес указанного резервного или обменного информационного пространства.

Модуль GeoMoS Analyzer предназначен для анализа, постобработки и графического представления результатов мониторинга. Модуль Leica GeoMoS Web представляет собой простое и удобное приложение, которое обеспечивает доступ к данным мониторинга через стандартные веб-браузеры. Правила доступа устанавливаются индивидуально. Любой авторизованный пользователь получает возможность просматривать данные мониторинга со своего компьютера, коммуникатора или мобильного телефона, включая изображения с веб-камеры.

Помимо программного обеспечения компании Leica разработчики системы подготовили собственное программное обеспечение, позволяющее производить анализ и сопоставление нако-

пленных данных.

Для удобства пользователей часть информации размещена на странице <https://geomos.leica-geosystems.com/GeoMoSWeb>. Заинтересовавшиеся читатели могут обратиться в редакцию журнала будут предоставлены контакты авторов и возможность получения идентификационных номеров и пароля для доступа к информации.

### **Заключение**

Работа системы мониторинга ККНО во время строительства зарекомендовала себя в целом с положительной стороны, завершение этапа наблюдений совпадает с окончанием работ по асфальтированию пролетного строения, приведением пролетного строения в проектное положение. На сегодняшний день ведутся работы по монтажу и поэтапному вводу систем мониторинга на срок эксплуатации мостового перехода, которые заменят системы мониторинга, служившие в период строительства.

Поэтапно устанавливаемая на мостовом переходе информационно-измерительная система непрерывного

мониторинга соответствует функциональным задачам, возложенным на нее в соответствии с действующими нормативными документами и проектными решениями.

Разработчиками системы мониторинга на всех этапах достигнут баланс между максимально возможной информативностью и минимальным количеством контрольных точек. Определенные и установленные граничные значения для каждого типа датчиков позволяют обеспечить безопасную эксплуатацию сооружения (мостового перехода).

Подготовленные специалистами ЗАО «Институт Гипростроймост — Санкт-Петербург» и утвержденные заказчиком (ЗАО «ТМК») нормативные эксплуатационные документы в полной мере отражают вопросы содержания информационно-измерительной системы мониторинга, регламентируют действия диспетчерского персонала, позволяя оперативно реагировать на возникающие внештатные ситуации.

***В.Г. Непомнящий, А.И. Яценко,  
Г.В. Осадчий***