

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ МОНИТОРИНГ ВАНТОВЫХ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Современный мир столкнулся с глобальной проблемой безопасности жизнедеятельности человека. Не стала исключением и сфера транспортной инфраструктуры, где регулярно происходят разрушения с серьезными последствиями. Есть множество факторов, влияющих на подобные происшествия. Сюда можно отнести природные катастрофы, техногенные аварии, повышенные нагрузки, ошибки в проектировании и строительстве и так называемый человеческий фактор. На состояние искусственных сооружений в первую очередь влияют атмосферные нагрузки, растущие с каждым годом вес и скорость движения транспорта, вибрации от транспортных потоков, изменения в грунтах. Как следствие, возникает задача обеспечения безопасной эксплуатации и нагрузки на необходимом уровне, то есть исполнения основной функции сооружения. Одним из инструментов, направленных на поддержание требуемых уровней надежности и функциональности сооружения, является инструментальный мониторинг.

В развитых странах вопросам состояния сооружений и связанной с ним безопасности уделяют особое внимание. Такого же внимания удостоивается и инструментальный мониторинг как один из основных инструментов контроля. Мировой опыт мостостроения к настоящему времени накопил достаточно примеров применения мониторинга в работе по предупреждению катастроф. Конечно, обеспечить тотальным, стопроцентным контролем все искусственные сооружения невозможно. Поэтому в мировой практике пошли, с одной стороны, по пути оборудования наиболее сложных объектов, а с другой — оснащения сооружений, находящихся в техническом состоянии, близком к опасному.

Пожалуй, самыми известными объектами, иллюстрирующими первый подход, являются знаменитые мосты в Гонконге. Один из них, мост Тсинг Ма (рис. 1), считается самым длинным в мире подвесным (висячим) мостом, по которому осуществляются автомобильные и железнодорожные перевозки.

Специалисты по мониторингу в Гонконге разработали систему на базе GPS-технологий и организовали наблюдение за главными несущими тросами, дорожной частью и мостовыми опорными башнями. Полученные значения смещений предназначены для выявления характерных нагрузок и напряжений, действующих на главные компоненты моста. После внедрения GPS-системы она стала основной. Однако до ее установки на мостах уже существовала разветвленная система датчиков, которая по ряду параметров не устраивала разработчиков.

В России сделаны только первые шаги в сторону решения вопросов комплексного обеспечения безопасности и оборудования объектов системами мониторинга. Рассмотрим построение таких систем на примере сооружений Санкт-Петербурга — Большого Обуховского моста через Неву и путепровода в створе проспекта Александровской Фермы.

Эти объекты уникальны. Первый из них является, пожалуй, единственным вантовым мостом в России, по сути, состоящим из двух отдельно рядом расположенных сооружений. Данное обстоятельство потребовало проведения многочисленных аэродинамических испытаний и принятия впоследствии отличительных проектных решений.

Уникальность второго заключается в малых вертикальном и горизонтальном радиусах, а также наличии всего одной плоскости вант, что не характерно для кривых в плане сооружений. Поэтому было принято решение об оборудовании объектов системами мониторинга.

Несмотря на преимущества GPS-систем, в конкретных условиях нашей страны они имеют ряд существенных недостатков, таких как:

- высокая стоимость;
- недостаточная точность;
- достаточно большое время отклика.

Справедливости ради следует отметить, что с помощью GPS-систем можно получить высокую точность. Однако существенное увеличение стоимости не позволяет в подавляющем большинстве случаев применять их для отечественных сооружений.

С учетом вышеизложенного для описываемых сооружений была предложена система, осуществляющая непрерывный контроль статического и динамического состояния вантового пролетного строения и пилонов, а также их связи с воздействием окружающей среды. Система контролирует следующие параметры сооружения.

Пролетное строение:

- напряженно-деформированное состояние;
- вертикальную и горизонтальную составляющие линейного смещения;
- угол поворота вокруг продольной оси, отнесенный к центру тяжести контролируемого сечения.

Пилоны:

- горизонтальные смещения вершин пилонов;
- механические напряжения в поперечных сечениях нижней зоны.

Ванты:

- натяжение вант.

Метеорологические воздействия:

- скорость и направление ветра;
- температура окружающего воздуха в различных частях сооружения.

Прежде чем кратко описать средства, позволяющие определять названные выше параметры, необходимо отметить, что построение системы мониторинга, как и любой инженерной конструкции, должно предваряться проектированием. Разработчики мониторинга совместно с проектировщиками сооружения определяют количество датчиков, их номенклатуру и места

установки. Такой подход позволяет избежать как избыточности в построении системы, так и, напротив, учесть все точки, требующие контроля.

Мониторинг напряженно-деформированного состояния осуществляется с помощью тензометрических датчиков, расположенных в местах, определенных проектом, в серединах вантовых пролетных строений и в распорках пилонов (рис. 2).

Мониторинг динамических колебаний проводится с применением акселерометров, установленных в местах, наиболее подверженных нагрузкам, — серединах пролетов и в области опираний пролетных строений (рис. 3). Применение «трехкоординатных» акселерометров позволяет использовать их в качестве наклономеров.

Натяжение вант контролируется акселерометрами (рис. 4). Постоянное изменение величины колебаний говорит об ослаблении натяжения.

Механические смещения верхних частей пилонов определяются лазерными датчиками линейных перемещений (рис. 5). Излучатель лазерного луча и приемник отраженного сигнала закреплены на неподвижном основании в недоступном месте и нацелены на мишень. Мишень-отражатель жестко прикреплена наверху пилона.

Для определения воздействия окружающей среды на состояние сооружения и комплексного анализа степени влияния ветровых и температурных изменений применяются метеостанции.

Все устройства системы мониторинга устанавливаются в конструкциях сооружения с учетом возможных воздействий окружающей



Рис. 1. GPS-приемник на вершине мостовой башни моста Тсинг Ма



Большой Обуховский мост в Санкт-Петербурге

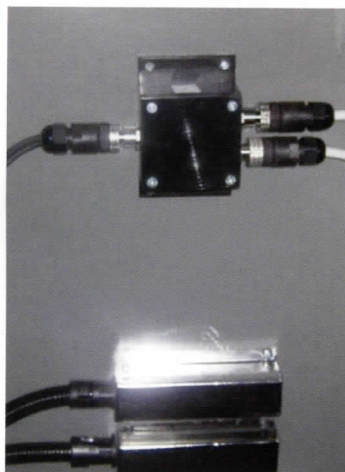


Рис. 2. Тензометрические датчики внутри пролетного строения

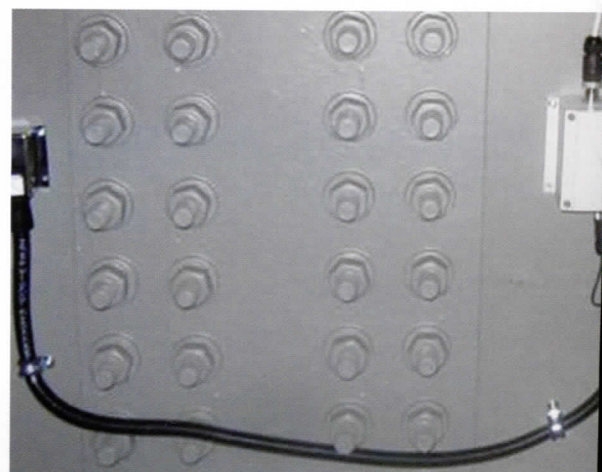


Рис. 3. Акселерометр внутри пролетного строения

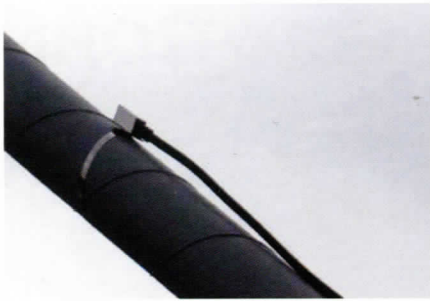


Рис. 4. Акселерометр, установленный на ванте.

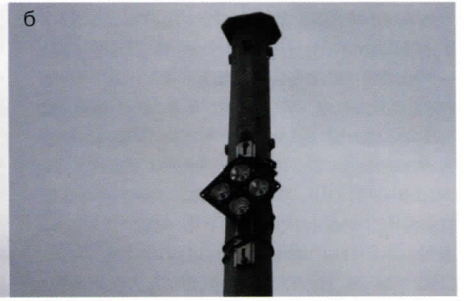
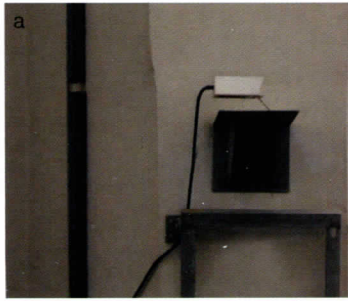


Рис. 5. Датчик поперечных сечений на путепроводе в створе проспекта Александровской Фермы: а) излучатель на пилоне; б) отражатель в середине пролета

среды или вандализма, то есть со специальными защитными приспособлениями в виде защитных коробов и контейнеров.

Программное обеспечение системы мониторинга состоит из двух технологических комплексов, в состав которых согласно техническому заданию входят:

- математическое обеспечение;
- информационное обеспечение.

Технологический комплекс сервера системы расположен на посту наблюдения и предоставляет информацию о состоянии также web-серверу. Состав данного технологического комплекса включает информационное обеспечение, серверное и клиентское программное обеспечение.

Информационное обеспечение представляет собой рабочую базу

данных на сервере системы, включающую:

- нормативно-справочную информацию;
- оперативное хранилище данных;
- архив.

Вывод на экран и постобработка получаемой информации осуществляется программой визуализации, которая выполняет следующие функции:

- вывод текущей информации в виде таблиц, диаграмм и графиков (рис. 6);
- сохранение данных за любой промежуток времени;
- построение графиков для каждого датчика за любой промежуток времени (рис. 7).

Кроме существенного повышения безопасности объектов, создание комплексной системы мониторинга позволяет принести реальный экономический эффект за счет таких факторов как:

- сокращение численности обслуживающего персонала;
- снижение загрузки персонала и соответствующее этому увеличение зоны обслуживания;
- снижение требований к квалификации линейных работников, непосредственно занятых на обслуживании;
- сокращение потерь в эксплуатационной работе за счет предупреждения (прогнозирования) и сокращения времени устранения повреждений.
- получение достоверных данных в реальном режиме времени.

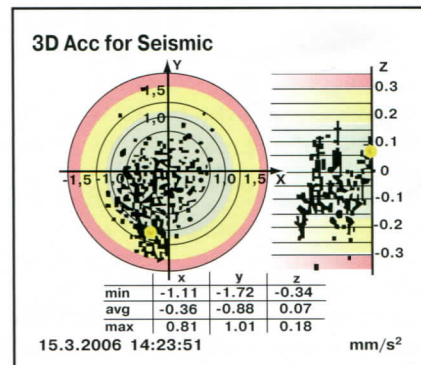
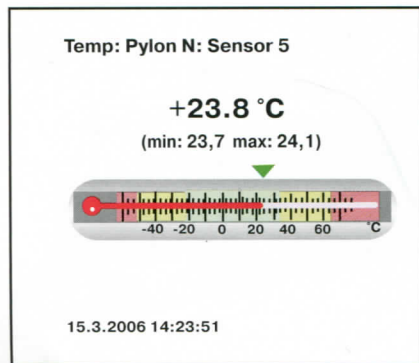


Рис. 6. Диаграммы показаний акселерометра и датчика температуры

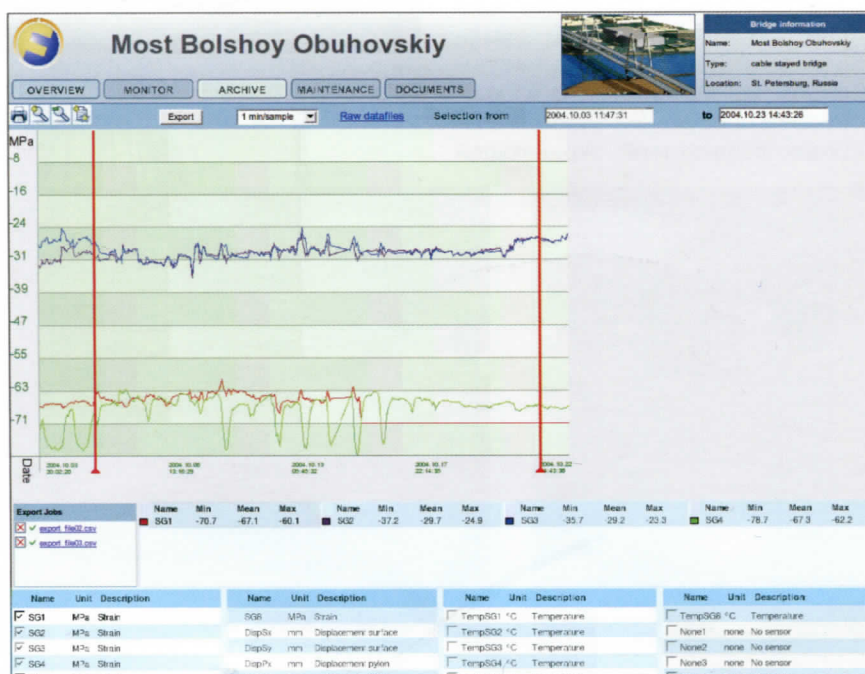


Рис. 7. Архив измерений с графиком изменения показаний датчиков

К.Ю. Долинский,
ведущий инженер
ООО «Мостовое бюро»;
Г.В. Осадчий,
руководитель группы
ЗАО «Институт Гипростроймост
— Санкт-Петербург»;
А.А. Белый,
к.т.н., ведущий инженер ГУП
«Мостотрест»