

Применение беспроводных сенсорных систем

для обеспечения безопасности различных подвижных и неподвижных объектов

Денис Урманов, к. т. н.
urmanov@mems-russia.ru

Олеся Полякова
polyakova@mems-russia.ru

Екатерина Шульцева
shultseva@mems-russia.ru

В связи с мировыми тенденциями удорожания энергии, сырья и материалов, а также с повышением требований к эффективности и экологичности производства, к созданию максимально безопасных условий жизнедеятельности все более интенсивно разрабатываются и применяются инновационные технологии, в особенности это касается беспроводных сенсорных сетей мониторинга технического состояния объектов. Беспроводная сенсорная сеть (БСС) — это распределенная, самоорганизующаяся сеть множества датчиков (сенсоров), предназначенных для отслеживания физических явлений или условий окружающей среды, а также работы исполнительных устройств, объединенных между собой посредством радиоканала. За счет ретрансляции сообщений от одного элемента к другому область покрытия подобной сети может достигать нескольких километров.

В рамках данной статьи будут рассмотрены миниатюрные вычислительно-коммуникационные устройства — моты (от англ. *motes* — «пылин-

ки»), оснащенные датчиками, наиболее широко применяемыми для обеспечения сохранности подвижных и неподвижных объектов (рис. 1). Благодаря своей специфике акселерометры и инклинометры, изготовленные на основе микроэлектромеханических систем (МЭМС), а также экодатчики (миниатюрные датчики для измерения освещенности, температуры и влажности) находят все большее применение в современных беспроводных системах мониторинга объектов российского и зарубежного производства.

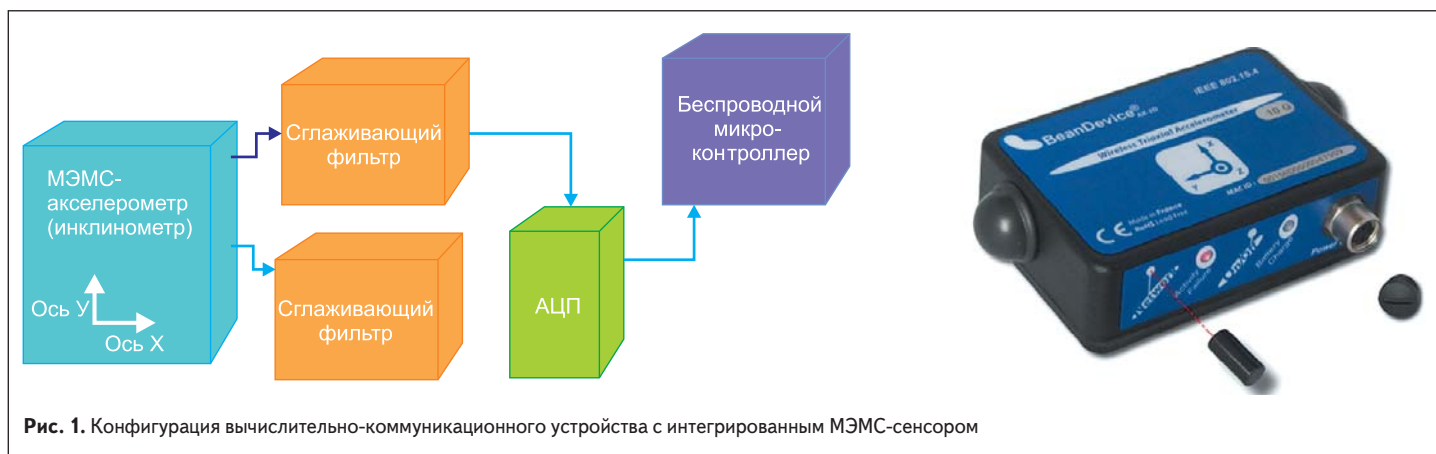
Преимуществами интеграции МЭМС-датчиков являются малый размер, низкое энергопотребление, проведение динамических измерений по одной или нескольким осям, высокая температурная стабильность, а также — в зависимости от приложения — высокая или низкая чувствительность.

Усовершенствованные системы для мониторинга сохранности различных объектов предлагает российский производитель ООО «Совтест АТЕ». Характеристики разрабатываемых компанией устройств, оснащенных МЭМС-сенсорами, позволяют говорить о возможности применения БСС в суровых условиях эксплуатации. Эти приборы позволяют регистрировать и передавать данные о статических и динамических измерениях в режиме реального времени, устанавливать оптимальный режим сбора данных, мощный или с минимальным энергопотреблением, а также, благодаря использованию более сильных разнесенных антенн и, как следствие, увеличенной дальности действия, использовать в БСС меньше сенсоров (таблица).

Следует также отметить, что современные сенсоры для мониторинга технического со-

Т а б л и ц а . Рабочие характеристики устройств, оснащенных МЭМС-датчиками

Беспроводные коммуникационно-вычислительные устройства			
Рабочие характеристики	МЭМС-акселерометр	МЭМС-инклинометр	Экодатчик
Дальность связи между устройствами по прямой видимости, м	500	500	300
Диапазон рабочих температур, °С	-40...+85		
Встроенная флэш-память	До 1 000 000 записей (с фиксацией реального времени измерения)	До 1 000 000 записей (с фиксацией реального времени измерения)	32 700 записей
Потребление тока в холостом режиме, мкА	<45	<30	<15
Потоковый режим	3000 изм./с (на 1 канале)	60 изм./с (на каждом канале)	Нет (легкий режим)
Степень защиты от внешних воздействий	IP 67	IP 67	IP 67



стояния подвижных и неподвижных объектов отличаются увеличенным сроком автономности. Так, при установке спящего режима, когда сенсор «просыпается» только при обнаружении соответствующего сигнала, литий-ионная АКБ, питающая устройство, может прослужить без замены до полутора лет.

Более того, посредством применения в сенсорах фильтра Баттерворта, имеющего относительно гладкую амплитудно-частотную характеристику на частотах полосы пропускания, входящие сигналы-помехи от сетевых устройств эффективно устраняются. Таким образом, пользователь получает точные данные об измеряемых параметрах. При этом установить частоту среза можно самостоятельно в диапазоне 0–2000 Гц.

Достоинство современных БСС заключается также в том, что для передачи информации используется радиоканал на частоте 2,4 ГГц, не требующий сертификации. Данные в такой беспроводной сети передаются на основе стандарта IEEE 802.15.4, специально разработанного для беспроводных сетей с маломощными приемопередатчиками (рис. 2). Пример конфигурации одной из таких систем, предназначенной для мониторинга технического состояния мостов, представлен на рис. 2.

Визуализация и настройка оборудования БСС для мониторинга сохранности различных объектов не требует какого-либо специального помещения с дополнительным оборудованием (специальные камеры, экраны, излучатели и т. п.), достаточно подключить систему к обычному компьютеру или ноутбуку.

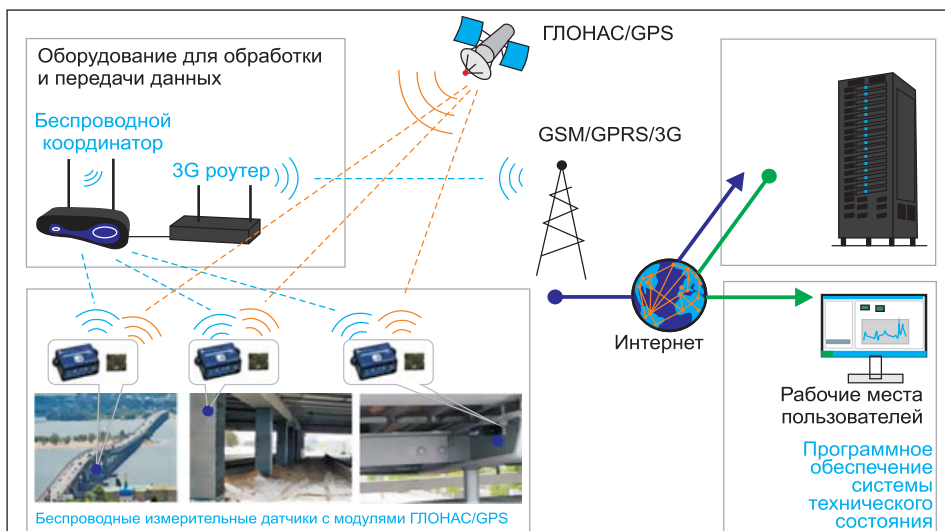


Рис. 2. Схема работы беспроводной системы мониторинга технического состояния мостов

В настоящее время БСС с интегрированными МЭМС-датчиками становятся все более востребованными в целях мониторинга сохранности зданий, промышленных сооружений, производственного оборудования, мостов, теплиц, буровых установок, стационарных нефтяных платформ и трубопроводов, используемых в нефтяной и газовой промышленности, а также в инженерных системах, например в системах «умный дом».

Рассмотрим специфику применения МЭМС в каждом из перечисленных случаев. Использование

технологий МЭМС в беспроводных системах позволяет осуществлять мониторинг технического состояния жилых и общественных зданий, а также промышленных сооружений. Процесс мониторинга выглядит следующим образом: беспроводные датчики, установленные в различных помещениях зданий и сооружений, передают результаты измерений на беспроводной роутер, с него по локальной сети или сети GSM/GPRS централизованные данные передаются на монитор технического контроля. Эта схема наглядно показана на рис. 3.

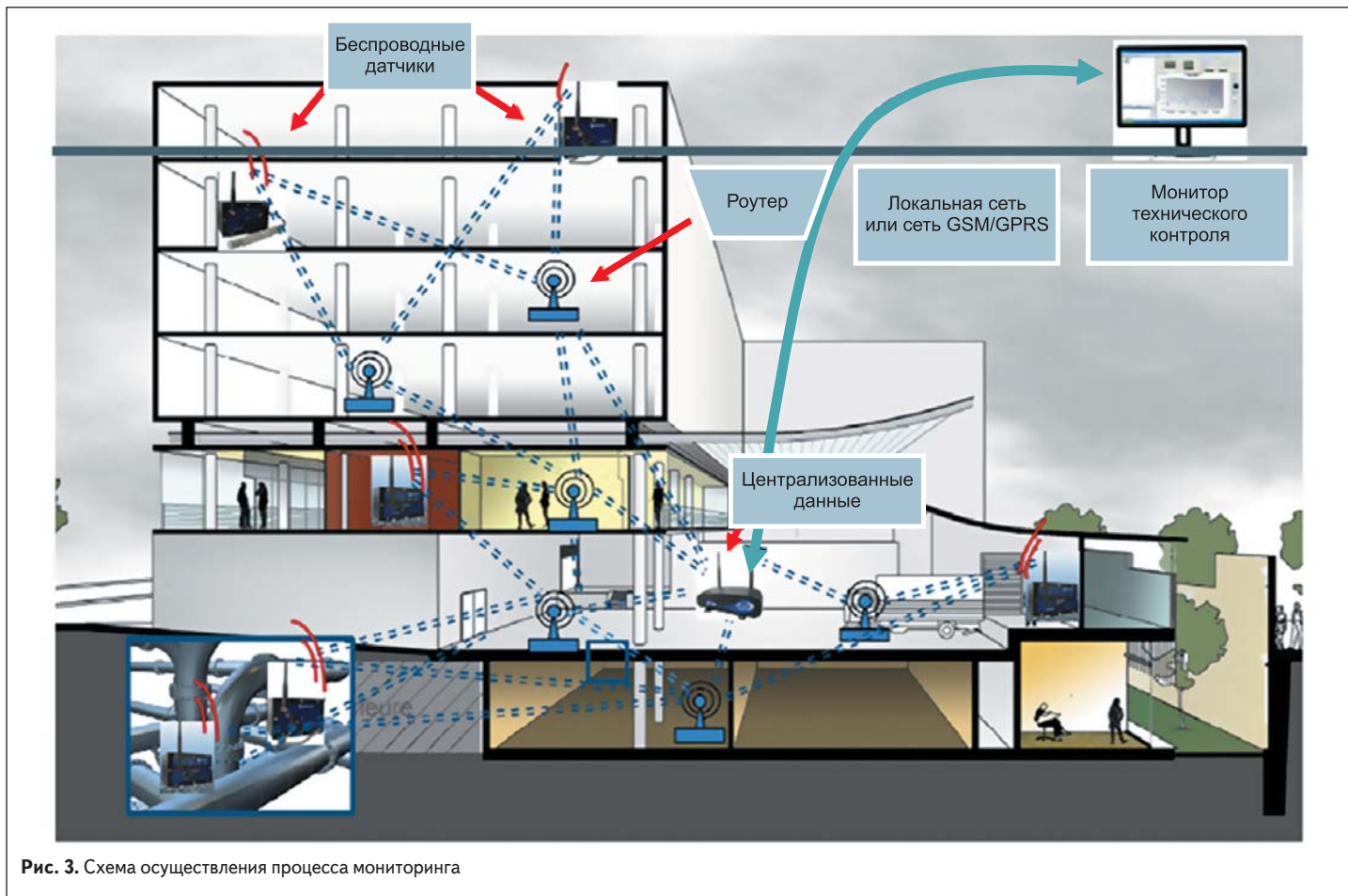


Рис. 3. Схема осуществления процесса мониторинга

Подобная беспроводная система позволяет обеспечивать качественный дистанционный мониторинг (в соответствии с нормативными документами РФ: СП 13-102-2003; ГОСТ Р 53778-2010; ГОСТ Р 52892-2007) технических характеристик состояния зданий и сооружений, таких как вибрация, деформация, отклонение и т. д., с удобными для пользователя параметрами периодичности. Измерения проводятся в режиме реального времени со скоростью до 5000 измерений в секунду несколько раз в день, неделю, месяц или год, в зависимости от заданных настроек. Это позволяет вовремя отслеживать изменения в техническом состоянии построек и предпринимать необходимые меры для предотвращения возникновения трещин, частичного или полного разрушения конструкций [13]. Здесь же можно отметить применение беспроводных систем мониторинга технического состояния для конструкций ГЭС и ГАЭС в соответствии с СТО 17330282.27.140.011-2008.

Использование беспроводных систем на основе технологий МЭМС в сфере мониторинга производственного оборудования разного типа обеспечивает высокий уровень контроля сохранности практически в любых видах производства.

Развитие технологий влечет за собой появление новых видов производственного оборудования, включая современные станки и робототехнику: роботов-погрузчиков, манипуляторов и т. д. Обеспечивая высокий уровень качества производства, подобная техника, как правило, является весьма сложной и дорогостоящей в обслуживании. Применение беспроводных датчиков позволяет обеспечивать контроль различных характеристик работающего оборудования. Предотвращение перегрева, перенапряжения, смещения в процессе производства позволяет обеспечить качественную бесперебойную работу сложных приборов, высокий уровень производства, снижение затрат на техническое обслуживание и ремонт, повышение уровня безопасности. Работа беспроводной системы мониторинга осуществляется в соответствии с такими нормативными документами, как ГОСТ 12.2.003-91; СН 2.2.4/2.1.8.566-96.

Наиболее остро для нашей страны стоит проблема мониторинга технического состояния мостов. Это связано с тем, что большая часть мостов, функционирующих на территории Российской Федерации, имеет длительный срок службы и при этом не подвергается ремонту или реконструкции. Все это вкпе с увеличением нагрузок, связанных со значительным увеличением транспортного потока, часто приводит к полному или частичному разрушению мостовых конструкций. Система беспроводного мониторинга позволяет избежать подобных последствий, поскольку позволяет измерять качественные признаки, характеризующие техническое состояние сооружений. К таковым, прежде всего, относятся геометрические параметры, напряженно-деформированное состояние, температура элементов конструкций, дефекты, нагрузки и воздействия, атмосферные и другие условия эксплуатации. На их основании

можно не только делать вывод о техническом состоянии мостов, но и принимать решения по ограничению движения определенных видов транспорта для предотвращения повреждения мостовых конструкций и других негативных последствий. Данные исследования проводятся в рамках действующих на территории РФ правил (СНиП 3.06.07-86). Пример применения БСС с акселерометрами, предназначенной для мониторинга технического состояния железнодорожного моста в момент прохождения поезда, приведен на рис. 4.

Следующее актуальное направление применения беспроводных систем с МЭМС-датчиками — тепличные комплексы и комбинаты. Несущие конструкции теплиц, как правило, более подвержены воздействию внешних факторов: ветру, колебаниям земной коры, атмосферным осадкам. В подобных случаях системы беспроводного мониторинга технического состояния — одно из наиболее оптимальных и рентабельных решений. Они обеспечат полный контроль состояния технических параметров сооружения и, соответственно, высокий уровень безопасности. Современные технологии выращивания овощей, рассады, цветов и зеленых культур требуют постоянного поддержания определенных режимов микроклимата в теплицах. Тепличное производство относится к числу наиболее энергоемких производств и в среднем затраты на обогрев теплиц составляют 40–75% от себестоимости продукции. Применение же беспроводных систем мониторинга микроклимата в тепличных комплексах позволяет экономить 15–20% тепла. Динамические измерения температуры, влажности, уровня освещенности в режиме реального времени позволяют сделать процесс производства более эффективным и менее трудоемким в рамках реализации СанПиН 5791-91.

Нефтяная и газовая промышленность — одна из крупнейших сфер применения беспроводных систем мониторинга. Они могут использоваться на всех этапах производства: от добычи до транспортировки продукта по любым кана-

лам, включая трубопроводы, танкеры и т. д. Датчик температуры, входящий в беспроводную систему, позволяет контролировать текущую температуру и устанавливать факты работы буровой установки с перегретым или перегретым двигателем. Появляется возможность заблаговременно увидеть неисправности системы охлаждения двигателя и предотвратить выход двигателя из строя. Инклинометр, регистрируя возможные отклонения буровой установки, дает возможность контролировать маршрут движения и предпринимать меры по его корректировке. Система мониторинга позволяет отслеживать смещение стационарных нефтяных и газовых платформ как под воздействием природных факторов (прилив, отлив, сила ветра и т. д.), так и при причаливании нефтеналивных танкеров и танкеров для транспортировки сжиженного газа, для предотвращения проблем экологического и технического характера (разлив нефтяных продуктов, полное или частичное разрушение платформы, выход из строя различных систем, обеспечивающих работу платформы). Дистанционный контроль уровня вибрации трубопроводов при помощи акселерометра во время прокачки нефтепродуктов или сжиженного газа, смещения и перегрева обеспечивает безопасность процесса и защиту от аварий техногенного характера.

Конечно же, беспроводные системы мониторинга могут применяться не только на крупных объектах, в промышленном производстве и т. д. В последнее время все большую популярность приобретают различные инженерные системы автоматизации жилых домов, например так называемая система «умный дом». Применение БСС гарантирует полный контроль основных параметров микроклимата: температуры, влажности, освещенности. Для районов с повышенной сейсмической активностью беспроводные системы, в состав которых входят акселерометры и инклинометры, просто незаменимы, ведь при настройке высокого уровня чувствительности датчиков они позволяют уловить мельчайшие изменения в уровне вибрации конструкции.

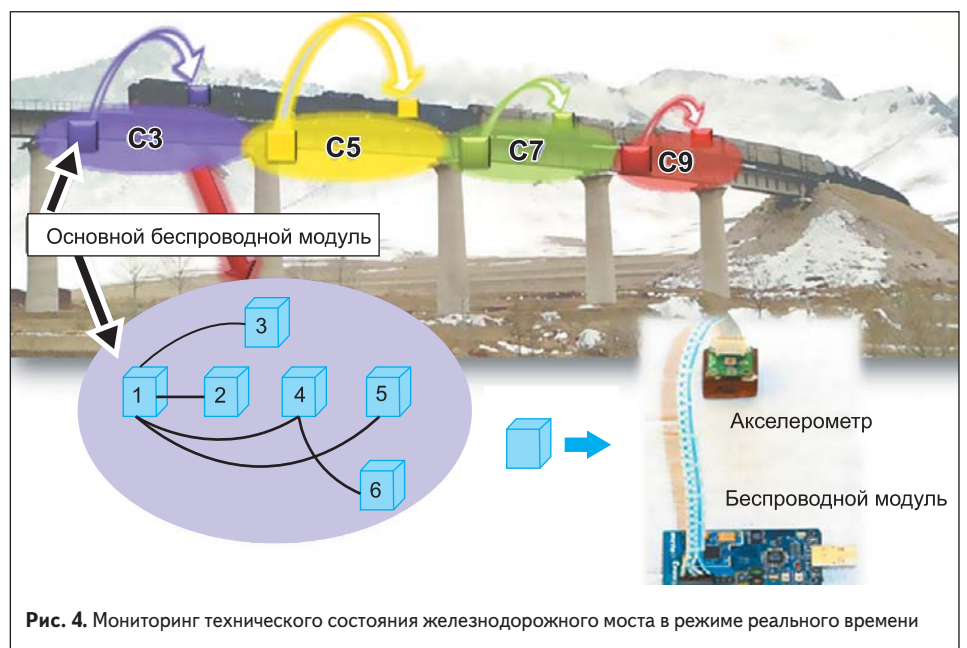


Рис. 4. Мониторинг технического состояния железнодорожного моста в режиме реального времени

Логистика — еще одна обширнейшая сфера применения беспроводных систем мониторинга на основе технологии МЭМС. На сегодняшний день уровень качества грузоперевозок определяется не только скоростью доставки, но и уровнем сохранности доставляемого груза. Датчики беспроводных систем могут быть установлены как на корпус технического средства передвижения, так и на сам груз. В первом случае они обеспечивают контроль местонахождения груза, безопасность автомобиля и водителя, что особенно актуально при непогоде, а также в условиях плохой дороги или ночного времени, а во втором — позволяют контролировать условия перемещения груза, такие как уровень температуры, влажности и степень деформации груза во время транспортировки, что при необходимости позволяет менять условия для повышения качества доставки (ГОСТ Р 52298-2004).

Необходимо также отметить огромный потенциал использования беспроводных систем мониторинга в сфере контроля пожарной безопасности в лесных зонах. Это направление является наиболее актуальным для России: ежегодно на территории лесных фондов возникает от 12 до 36 тыс. лесных пожаров, охватывающих площадь 0,5–5,2 млн га. Применение беспроводных датчиков позволяет держать под контролем показатели, свидетельствующие о повышении уровня пожароопасности. Это достигается за счет применения в беспроводной системе мониторинга датчиков температуры, относительной влажности, атмосферного давления, а также датчиков, измеряющих показатели содержания некоторых химических соединений в окружающем воздухе (углекислый газ, метан, этанол, угарный газ, толуол и др.), благодаря чему можно заранее определить возможность возникновения пожара в заданном лесном регионе (ГОСТ Р 22.1.09-99 «Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров»). ■

Литература

1. Баранова Е. IEEE 802.15.4 и его программная надстройка ZigBee. // Телемультимедиа. 8 мая 2008 г.
2. Восков Л. С. Беспроводные сенсорные сети и прикладные проекты // АВИТЭ. 2009. № 2-3(92).
3. ГОСТ Р 53778-2010 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния».
4. ГОСТ Р 52892 – 2007 «Вибрация и удар. Вибрация зданий. Измерение вибрации и оценка ее воздействия на конструкцию».
5. ГОСТ 12.2.003-91 «Оборудование производственное. Общие требования безопасности».
6. ГОСТ Р 52298-2004 «Услуги транспортно-экспедиторские. Общие требования».
7. ГОСТ Р 22.1.09-99 «Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров».
8. СанПиН 5791-91 «Санитарные правила и нормы по устройству и эксплуатации теплиц и тепличных комбинатов».
9. СП 13-102-2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений».
10. СТО 17330282.27.140.011-2008 «Гидроэлектростанции. Условия создания. Нормы и требования».
11. СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий».
12. СНиП 3.06.07-86 «Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний».
13. Levis P., Madden S., Polastre J. and all. TinyOS: An operating system for wireless sensor networks // In Ambient Intelligence. New York, Springer-Verlag. 2005.
14. Hongwei Li, Jinping Ou. A Remote deformation monitoring system for a cable stayed bridge using wireless internet-based GPS technology// 3rd IAG. 12th FIG Symposium. Baden. May 22-24, 2006.