

# БЕСПРОВОДНЫЕ СЕНСОРНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОДВИЖНЫХ И НЕПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

**Д.Урманов**, к.т.н. urmanov@mems-russia.ru  
**О.Болдова** olesya.boldova@ mems-russia.ru

В связи с мировыми тенденциями роста стоимости энергии, сырья и материалов, повышением требований к эффективности и экологичности производства, созданием безопасных условий жизнедеятельности все более интенсивно разрабатываются и применяются инновационные технологии, например, беспроводные сенсорные сети 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 исполнительных устройств, объединенных между собой радиоканалом. За счет ретрансляции сообщений от одного элемента к другому область покрытия подобной сети может достигать нескольких километров.

**Д**ля обеспечения сохранности подвижных и неподвижных объектов широко применяются миниатюрные вычислительно-коммуникационные устройства – моты (moten – пылинки), оснащенные датчиками (рис.1). Акселерометры и инклинометры на основе микроэлектромеханических

систем (МЭМС), а также экодатчики (миниатюрные датчики для измерения освещенности, температуры и влажности) благодаря своим особенностям находят все большее применение в беспроводных системах мониторинга объектов как российского, так и зарубежного производства.

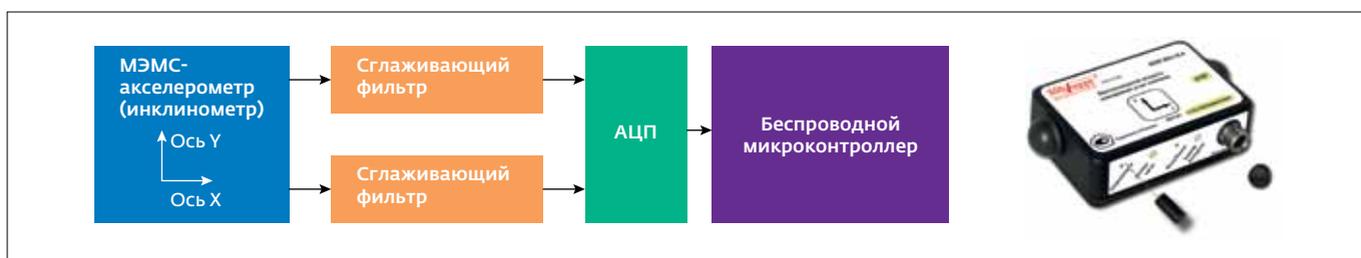


Рис.1. Конфигурация вычислительно-коммуникационного устройства с интегрированным МЭМС-сенсором

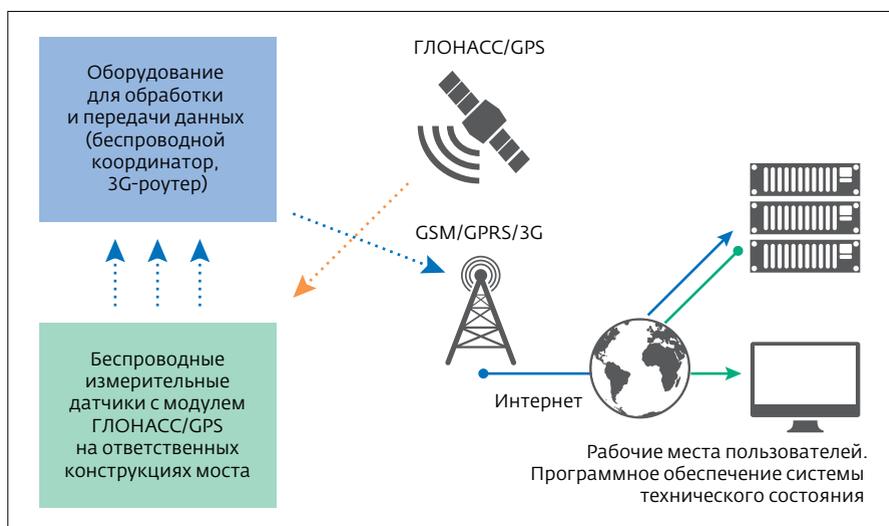
Преимущества интеграции МЭМС-датчиков – малый размер, низкое энергопотребление, возможность динамических измерений по одной или нескольким осям, высокая температурная стабильность, а также изменяющаяся (т.е. можно задавать) в зависимости от приложения чувствительность.

Системы для мониторинга сохранности различных объектов предлагает российский производитель ООО "Совтест АТЕ". Повышенные характеристики разрабатываемых компанией устройств, оснащенных МЭМС-сенсорами, позволяют применять БСС в жестких условиях эксплуатации (см. таблицу). Эти устройства регистрируют и передают данные о статических и динамических измерениях в реальном времени, устанавливая оптимальный режим сбора данных, уровень энергопотребления. Благодаря применению более мощных антенн и, как следствие, увеличенной дальности действия, в БСС можно использовать меньшее число сенсоров.

Следует отметить, что современные сенсоры для мониторинга технического состояния подвижных и неподвижных объектов отличаются увеличенным сроком автономности. Так, при установке "спящего" режима, когда сенсор "просыпается" только при обнаружении соответствующего сигнала, литий-ионная аккумуляторная батарея может прослужить без замены до 1,5 лет.

Более того, применение в сенсорах фильтра Баттерворта, имеющего по сравнению с другими электронными фильтрами максимально гладкую амплитудно-частотную характеристику в полосе пропускания, приводит к устранению помех от сетевых устройств. Таким образом, пользователь получает точные данные об измеряемых параметрах. При этом частоту среза можно установить в диапазоне частот от 0 Гц до 2 кГц.

Достоинством современных БСС является также и то, что для передачи информации используется радиоканал на частоте 2,4 ГГц, который не требует сертификации. Для передачи данных в таких сетях используется стандарт IEEE 802.15.4 [1] Конфигурация одной из таких систем,



**Рис.2.** Беспроводная система мониторинга технического состояния мостов

предназначенной для мониторинга технического состояния мостов, представлена на рис.2.

В беспроводных системах мониторинга нет необходимости в специальном помещении с дополнительным оборудованием (специальных камер, экранов, излучателей и т.п.) для визуализации и настройки оборудования, достаточно подключить систему к обычному компьютеру или ноутбуку.

Сегодня БСС с интегрированными МЭМС-датчиками находят все большее применение для мониторинга сохранности зданий, промышленных сооружений, производственного оборудования, мостов, контроля микроклимата теплиц, мониторинга работы буровых установок и состояния стационарных нефтяных платформ, трубопроводов, используемых в нефтяной и газовой промышленности, а также в инженерных системах (например в системах "умный дом").

Рабочие характеристики устройств с МЭМС-датчиками

Рабочие характеристики	Беспроводные коммуникационно-вычислительные устройства		
	МЭМС-акселерометр	МЭМС-инклинометр	Экодатчик
Дальность связи между устройствами по прямой видимости, м	500	500	300
Диапазон рабочих температур, °С	От -40 до 85		
Объем встроенной флеш-память, количество записей	До 10 <sup>6</sup> (с фиксацией реального времени измерения)		32700
Потребление тока в холостом режиме, мкА	< 45	< 30	< 15
Потоковый режим, изм./с	3000 (на одном канале)	60 (на каждом канале)	Нет (легкий режим)
Степень защиты от внешних воздействий	IP 67		

Рассмотрим специфику применения МЭМС в каждом из перечисленных случаев.

**Мониторинг технического состояния жилых, общественных зданий и промышленных сооружений.** Беспроводные датчики, установленные в различных помещениях зданий и сооружений (рис.3), передают результаты измерений на

беспроводной роутер, с него по локальной сети или сети GSM/GPRS централизованные данные поступают на монитор технического контроля.

Подобная беспроводная система позволяет обеспечивать качественный дистанционный мониторинг (в соответствии с нормативными документами РФ – СП 13-102-2003 [2]; ГОСТ Р 53778-2010 [3];

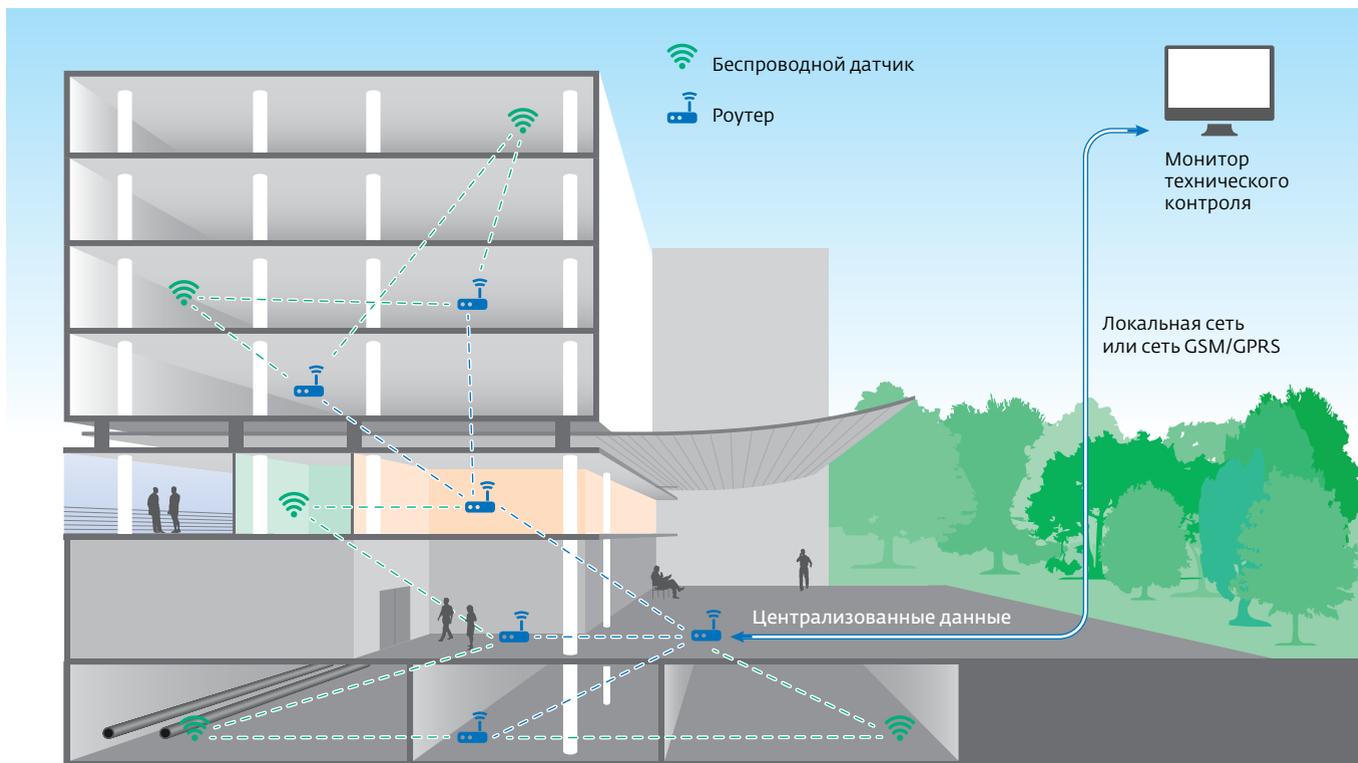


Рис.3. Процесс мониторинга

ГОСТ Р 52892-2007 [4]) технических характеристик состояния зданий и сооружений, таких как вибрация, деформация, отклонение и т.д. с удобной для пользователя периодичностью. Измерения проводятся в режиме реального времени со скоростью до 5 тыс. изм./с несколько раз в день, неделю, месяц или год в зависимости от заданных настроек. Это позволяет вовремя отследить изменения в техническом состоянии здания и предпринять необходимые меры для предотвращения возникновения трещин, частичного или полного разрушения конструкции [5]. Мониторинг технического состояния конструкций ГЭС и ГАЭС проводится в соответствии с СТО 17330282.27.140.011-2008 [6].

**Мониторинг производственного оборудования** с помощью БСС на основе технологий МЭМС обеспечивает контроль сохранности оборудования практически на любом производстве. Современное производственное оборудование, включая станки с ЧПУ и робототехнику (роботы-погрузчики, манипуляторы), определяет уровень производства, но обслуживание такого оборудования и его ремонт дорого обходятся. Применение беспроводных датчиков позволяет не только постоянно контролировать различные характеристики работающей техники, предотвращать ее перегрев,

механические перенапряжения в процессе производства, но и обеспечивает качественную бесперебойную работу оборудования, высокий уровень производства, снижение затрат на техническое обслуживание и ремонт, повышение безопасности. Беспроводная система мониторинга производственного оборудования соответствует нормативным документам – ГОСТ 12.2.003-91 [7]; СН 2.2.4/2.1.8.566-96 [8].

**Мониторинг технического состояния мостов** – одна из острых проблем в нашей стране. Это связано с тем, что большая часть мостов, функционирующих на территории Российской Федерации, имеет длительный срок службы и долгое время не ремонтировалась и не реконструировалась. Эти обстоятельства вместе с увеличением транспортного потока часто приводят к полному или частичному разрушению мостовых конструкций. Система беспроводного мониторинга позволяет избежать подобных последствий, так как постоянно производится контроль качественных признаков, характеризующих техническое состояние, – геометрических параметров, напряженно-деформированных состояний, температуры элементов сооружения, количества дефектов, величины нагрузки, атмосферных условий

и условий эксплуатации [9]. На основании этих измерений можно не только сделать вывод о техническом состоянии мостов, но и принимать решения по ограничению движения определенных видов транспорта. Данные исследования проводятся в соответствии с действующими на территории РФ санитарными нормами и правилами СНиП 3.06.07-86 [10].

**Контроль технического состояния и микроклимата в тепличных комплексах и комбинатах.** Несущие конструкции теплиц, как правило, очень 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 и 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 позволяют экономить 15–20% тепла. Динамические измерения температуры, влажности, уровня освещенности в режиме реального времени делают процесс производства более эффективным и менее трудоемким в соответствии с действующими нормами СанПиН 5791-91 [11].

**Мониторинг в нефтяной и газовой промышленности проводится** на всех этапах производства: от добычи до транспортировки продукта по любым каналам, включая трубопроводы, танкеры и т.д. Датчик температуры, входящий в беспроводную систему, контролирует текущую температуру и устанавливает факты работы буровой установки с непрогретым или перегретым двигателем. Появляется возможность заблаговременно определить неисправность системы охлаждения двигателя и предотвратить выход его из строя. Инклинометр регистрирует возможные отклонения буровой установки, контролирует маршрут движения и проводит его корректировку.

Система мониторинга позволяет отслеживать смещение стационарных нефтяных и газовых платформ как под воздействием природных факторов (прилив, отлив, сила ветра и т.д.), так и в условиях причаливания нефтеналивных

танкеров и танкеров для транспортировки сжиженного газа. В результате предотвращается разлив нефтяных продуктов, полное или частичное разрушение платформы, выход из строя различных систем, обеспечивающих работу платформы. Дистанционный контроль с помощью акселерометра уровня вибрации, смещения и перегрева трубопроводов во время прокачки нефтепродуктов или сжиженного газа обеспечивает безопасность процесса и защиту от аварий техногенного характера.

Конечно же, беспроводные системы мониторинга могут применяться не только на крупных объектах и в промышленном производстве. В последнее время все большую популярность приобретают различные инженерные **системы автоматизации жилых домов**, например, 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 если настроить чувствительность датчиков на высокий уровень, то они позволят уловить мельчайшие изменения в уровне вибрации конструкции.

**Логистика** – обширнейшая сфера применения беспроводных систем мониторинга на основе технологии МЭМС. Качество грузоперевозок определяется не только скоростью доставки, но и сохранностью доставляемого груза. Датчики беспроводных систем могут быть установлены как на корпус технического средства передвижения, так и на сам груз. В первом случае это обеспечивает контроль местонахождения груза, безопасность автомобиля и водителя, что особенно актуально в условиях плохой дороги, погодных условий или ночного времени. Во втором – позволяет контролировать условия перемещения груза (уровень температуры, влажности), а также степень деформации груза во время транспортировки. По результатам контроля для повышения уровня доставки при необходимости можно менять условия перевозки (ГОСТ Р 52298-2004 [12]).

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 возникают от 12 до 36 тыс. лесных пожаров, охватывающих площадь

от 0,5 до 5,2 млн. га. Применение беспроводных датчиков позволяет держать под контролем показатели, свидетельствующие о повышении уровня пожарной опасности. Это достигается за счет применения в беспроводной системе мониторинга датчиков температуры, относительной влажности, атмосферного давления, а также датчиков, контролирующих содержание некоторых химических соединений в окружающем воздухе (углекислого газа, метана, этанола, угарного газа, толуола и др.). По результатам измерений можно заранее определить возможность возникновения пожара в заданном лесном регионе (ГОСТ Р 22.1.09-99 – Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров [13]).

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Баранова Е.** IEEE 802.15.4 и его программная надстройка ZigBee. – Телемультимедиа, 8 мая 2008.
2. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений.
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. **Levis P., Madden S., Polastre J. et. al.** TinyOS: An operating system for wireless sensor networks. / W. Weber, J.M. Rabaey, E. Aarts (Eds.). – New York, NY: Springer-Verlag, 2005.
6. СТО 17330282.27.140.011-2008 – Гидроэлектростанции. Условия создания. Нормы и требования.
7. ГОСТ 12.2.003-91. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
8. СН 2.2.4/2.1.8.566-96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий.
9. **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.
10. СНиП 3.06.07-86. Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний.
11. СанПиН 5791-91. Санитарные правила и нормы по устройству и эксплуатации теплиц и тепличных комбинатов.
12. ГОСТ Р 52298-2004. Услуги транспортно-экспедиционные. Общие требования.
13. ГОСТ Р 22.1.09-99. Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров.