

СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ

Материал подготовил к.т.н. Г.В. Мельник

Одной из главных предпосылок технического прогресса является непрерывное совершенствование систем и средств измерений, и двигателестроение здесь не представляет исключения. Постоянно растущие требования к качеству двигателей и совершенствованию их технико-экономических и экологических характеристик вызывают необходимость поиска новых конструктивных и технологических решений, эффективность которых может быть проверена только при наличии адекватных средств измерения. Это относится не только к оборудованию испытательных стендов и лабораторных установок, но и к серийным изделиям, находящимся в эксплуатации. Здесь можно отметить несколько направлений: повышение точности измерений, повышение устойчивости измерительных приборов к внешним воздействиям, обеспечение более комфортных условий работы для операторов, интеграция средств измерения с информационно-вычислительными системами более высокого уровня, в том числе с использованием телекоммуникаций.

Совершенствование измерительной техники происходит как за счет использования новых физических принципов, так и за счет применения новых материалов и конструкций. Миниатюризация устройств позволяет использовать их там, где раньше установка датчиков была невозможна в силу их габаритов. Одним из главных направлений является дальнейшая компьютеризация измерений и подключение измерительных устройств к системам сбора и обработки данных, в том числе — через локальные сети и Интернет.

В этом выпуске представлены материалы, дающие представление о предлагаемых сегодня на рынке средствах измерения таких важных для двигателестроения параметрах, как скорость, температура, давление и перемещение.

СОВРЕМЕННАЯ СИСТЕМА ТЕЛЕМЕТРИИ

Последние достижения в области техники измерений позволяют сократить сроки разработок за счет эффективных средств измерения и записи параметров вращающихся деталей машин. Они могут быть использованы не только в составе испытательных стендов, но и при измерении параметров находящихся в эксплуатации полно-размерных паровых и газовых турбин, а также турбокомпрессоров.

На протяжении многих лет для передачи показаний датчиков, установленных на вращающихся деталях турбомашин, использовались контактные кольца, подверженные сильному износу, или достаточно примитивные телеметрические системы. Однако сегодняшний уровень развития техники дает возможность использовать гораздо более совершенные средства телеметрии, намного опережающие традиционные решения в части надежности, точности и эргономичности.

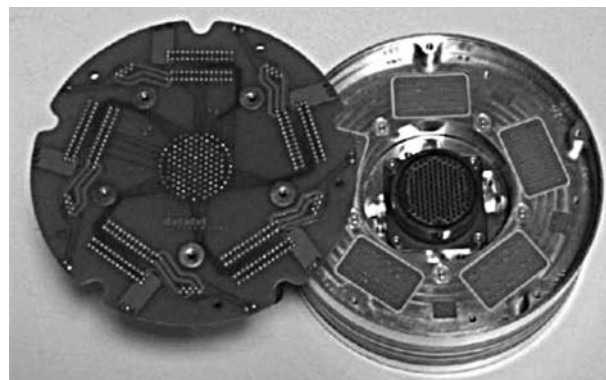
К их числу относятся изделия немецкой компании «Datatel», Langenhagen, разработавшей

новое поколение высокоскоростных цифровых многоканальных телеметрических систем, которые позволяют снимать и обрабатывать статические и динамические сигналы тензодатчиков, термопар и датчиков давления одновременно более чем по 600 каналам.

Основные области их применения — измерение вибрации турбинных лопаток, построение профилей статических и динамических значений давлений и температур промышленных и авиационных турбин и компрессоров, стенды для испытаний турбин, компрессоров, турбокомпрессоров и вентиляторов, а также замена устаревших измерительных систем с контактными кольцами.

По словам представителей фирмы, каждый сигнальный канал имеет полосу пропускания до 96 кГц (–3 дБ), обеспечивая высокую точность измерений и превосходное качество сигнала. Система включает в себя средства диагностики установленных на роторе датчиков, дающие возможность контролировать цепи датчиков, соединительных кабелей и всей системы в целом. Обеспечивается возможность регистрации с помощью приемника через сеть Ethernet большого количества параметров и управления различными процессами, такими как, например, включение и выключение тока возбуждения, переключение диапазонов регулирования тока возбуждения и динамическая калибровка шунтов. Обеспечивается также автоматическое определение разомкнутых и замкнутых контактов датчиков. Кроме того, существует возможность дистанционного управления измерительным контуром и задания диапазона измерений.

Наличие встроенной системы мониторинга температуры датчика и состояние цепи питания



Пример модуля передатчика в сборе с катушкой ротора—антенной, интерфейсом соединителя датчика и печатной платой

обеспечивает надежную работу системы телеметрии в самых тяжелых условиях — при температуре до 125°C и под воздействием больших ударных нагрузок. Специальный тензодатчик постоянного тока служит для автоматической компенсации погрешностей, вызываемых изменением сопротивления токоведущего провода датчика из-за колебаний температуры, что существенно повышает точность измерений.

В состав модуля передатчика входит специальный прочный соединитель для датчика, который значительно облегчает установку и подключение приборов с использованием печатных плат. Такой способ подключения, по словам представителей фирмы, намного сокращает время и стоимость установки системы и ввода ее в эксплуатацию.

Соответствующие приемники телеметрической системы имеют аналоговые выходы или цифровой интерфейс (высокоскоростная сеть Ethernet) для передачи данных измерений во внешние системы хранения и анализа данных. Новая возможность использования цифрового интерфейса способствует повышению точности измерений и экономии средств за счет того, что отпадает необходимость в аналогово-цифровых преобразователях выходных сигналов приемника и в соответствующих соединениях. Устройство может обрабатывать сигналы от 160 датчиков, в том числе от 80 тензодатчиков и такого же количества термопар; обработка сигналов происходит в стандартном 48-см касетном блоке. С помощью дополнительных блоков общее число каналов может быть увеличено до 600.

Управление всеми функциями, настройками и автотестированием осуществляется через графический интерфейс пользователя (GUI) веб-браузера, взаимодействующего с приемником с помощью Ethernet-связи. Дистанционное управление телеметрической системой может осуществляться с любого персонального компьютера с помощью стандартных сетевых средств.

Компания производит все электронные и механические компоненты, в том числе нестандартные, необходимые для установки системы на исследуемом объекте. Особо подчеркивается возможность изготовления по спецификации заказчика модулей передатчиков и узлов катушка-антенна в сборе. Варианты исполнения — для торцевой установки и для установки с охватом вала. Таким образом, компоненты телеметрической системы не просто устанавливаются на машине, проходящей испытания, а становятся частью ее конструкции, что гарантирует их долгую и безотказную работу.

Data Measurement Advances Cut Schedules Diesel & Gas Turbine Worldwide, November 20

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ДАТЧИКИ ДАВЛЕНИЯ

Постоянное ужесточение экологических требований, регламентирующих допустимый уровень вредных выбросов, вынуждает производителей газовых турбин продолжать совершенствование систем сжигания обедненной рабочей смеси для снижения содержания окислов азота в отработавших газах.

Это связано с необходимостью повышения коэффициента избытка воздуха до предела, определяемого условиями устойчивости горения.

При этом система становится более чувствительной к значительным колебаниям давления и склонной к акустическому резонансу, сопровождаемому срывом или обратным ударом пламени, что может вызвать серьезные разрушения в самой системе и в последующих участках газового тракта. Кроме того, повышение КПД процесса связано с увеличением температуры сгорания, что еще больше осложняет задачу обеспечения стабильности факела.



Изделие под названием «Wave-Phire», разработанное британской фирмой «Ox-sensis», является, по словам производителя, первым в мире серийным датчиком

динамического давления, рассчитанным на температуру 1000 °С, и первым из серии датчиков, предназначенных для работы в условиях сверхвысоких температур и мощных электромагнитных помех, характерных для турбин.

Этот датчик — первый в ряду датчиков динамического давления серии «Wave-Phire DP», способных работать при температуре до 1000°C. Система была испытана на стендах и на полномасштабных газовых турбинах различных типов при температурах до 1000°C. По словам представителей фирмы, испытания подтвердили живучесть системы, повторяемость результатов и заявленную точность измерений. В ходе дальнейшего развития системы предполагается обеспечить необходимую динамическую и статическую точность измерений давления при размещении датчика в точках, где температуры намного превышают те, на которые рассчитаны датчики обычного типа.

Новая технология основана на применении сапфира, подвергнутого микромеханической обработке, чем обеспечивается возможность работы чувствительного элемента при высоких значениях давлений и температур в сочетании с экстремальными механическими и химическими воздействиями, характерными для газотурбинных установок. Поскольку предельно допустимая

температура чувствительного элемента фактически равна температуре сгорания (т. е. температуре на входе в газовую турбину), датчик может быть установлен в любом месте газоздушного тракта. Это означает, что сапфировый датчик «Wave-Phire» может быть установлен непосредственно в камере сгорания, заподлицо с ее внутренней поверхностью, в отличие от обычных пьезоэлектрических датчиков, которые приходится устанавливать на некотором удалении от камеры или даже отдельно от турбины.

Преимущество датчика «Wave-Phire» по сравнению с обычными заключается не только в приближении точки измерения температуры к камере сгорания, но и в значительно более широкой полосе пропускания измерительного тракта. Ввиду отсутствия необходимости в длинных линиях передачи давления снимается проблема подстройки коэффициентов усиления на определенных частотах. Одновременно значительно снижается вероятность утечек в линиях передачи давления.

Кроме того, устранение запаздывания в передаче сигнала создает возможность использовать в системе несколько датчиков для определения фаз акустических волн. Еще одно преимущество состоит в том, что отпадает необходимость в использовании охлаждающего воздуха из магистрали отсоса или из технологической магистрали, что существенно упрощает систему.

Благодаря этому намного возрастет надежность исходных данных, используемых при проектировании газовых турбин.

Результаты измерений считываются через оптический интерфейс и направляются в специализированную систему сбора данных. Использование волоконной оптики также повышает устойчивости системы к электромагнитным помехам.

Датчики с соответствующими измерительными каналами могут быть использованы в составе фирменной системы технической диагностики «S-Phire»; благодаря этому пользователь получает возможность строить графики изменения параметров во времени (трендов) и задавать уставки срабатывания аварийно-предупредительной сигнализации. При этом к оператору поступает сигнал, заранее предупреждающий его о приближении систем к границе устойчивости, что позволит ему своевременно принять меры в части управления рабочим процессом двигателя и его технического обслуживания.

В будущем система опроса «i-Phire» позволит измерять не только динамическое, но одновременно и статическое давление, а также температуры среды в точке измерения, тем самым расширяя

возможности повышения КПД двигателя и контроля его состояния.

Считывание сигнала динамического давления с датчика производится с помощью интерферометра Фабри–Перо.

Полоса пропускания системы — от 1 Гц до 100 кГц, сигнал на аналоговом выходе — ± 7 В, с коэффициентом усиления 0,1, 1 или 10. Для передачи сигнала могут использоваться достаточно длинные оптоволоконные кабели, что позволит устанавливать блок обработки сигналов в отдельном помещении, например в зале, где находится щит управления. В состав блока входят схема автоматической компенсации изменения интенсивности света в оптоволоконных кабелях и система самодиагностики.

Фирма «Oxsensis» является одним из семнадцати участников HEATTOP — трехлетней программы развития новых технологий в области газотурбостроения стоимостью в 11 млн долларов, поддерживаемой Еврокомиссией. Среди участников программы — такие фирмы, как «Siemens» и «Rolls-Royce», а также Оксфордский и Кембриджский университеты.

NTough Emissions Targets Prompt Sensor Launch Diesel & Gas Turbine Worldwide, October 2008
www.oxsensis.com/oxsensis-launches-i-phire-8.php

МИНИАТЮРНЫЕ ДАТЧИКИ ТЕМПЕРАТУРЫ

Датчики температуры швейцарской фирмы «Sawi Mess- und Regeltechnik», Winterthur, являются самыми миниатюрными в мире; по утверждению фирмы, им принадлежит мировое первенство не только по малым габаритам, но и по термостойкости. Семейство датчиков серии SW142X, которое не так давно было полностью переработано, включает в себя 10 конфигураций датчиков, рассчитанных на температуру до 700 °С. Корпус датчика и тонкий, но прочный кабель с оплеткой из нержавеющей стали, имеющий, как и корпус, диаметр всего лишь 1 мм, могут выдерживать длительное воздействие температуры до 400 °С. Оплетка кабеля обеспечивает не только его термостойкость, но и надежное экранирование. Согласно статистике, большинство отказов датчиков температуры происходит в цепи передачи сигнала, поэтому при создании датчиков серии SW142X особое внимание было уделено надежности проводки.

Датчики отличаются чрезвычайно высокими динамическими характеристиками, и могут выдерживать давление до 2000 кг/см², что обеспечивает им широкий диапазон применения, включая двигатели внутреннего сгорания.

Кроме того, разработаны варианты датчиков с меньшей степенью динамической изоляции, диаметром 0,6 и 1,0 мм, представляющие

собой модификации датчиков серии SW142X типов K и N. Каждый тип датчика может поставляться с обрабатываемым или необрабатываемым передним торцом чувствительного элемента.

New Line of Miniature Temperature Sensors Diesel & Gas Turbine Worldwide, October 2008

СЕНСОРНАЯ ПЛЕНКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО ДАВЛЕНИЯ

В процессе проектирования нередко требуется определить величины и распределение давлений в сопряжении двух соприкасающихся или соударяющихся поверхностей. Для непосредственных измерений эти поверхности чаще всего оказываются недоступными.

Теперь проблема таких измерений может быть решена с помощью разработанной фирмой «Sensor Products Inc.» (Madison, New Jersey, U.S.A.) чувствительной пленки «Pressurex», которая помещается между контактирующими поверхностями и создает профиль распределения давления. Эта пленка оказалась незаменимой при проектировании, изготовлении и проверке таких элементов, как резьбовые соединения, разъемы, пакеты топливных ячеек, прокладки, соединения, полученные термической или ультразвуковой сваркой, радиаторы, жидкокристаллические и плазменные экраны, прессы, печатные платы, слоистые структуры и подложки микросхем, а также при исследовании ударных взаимодействий.

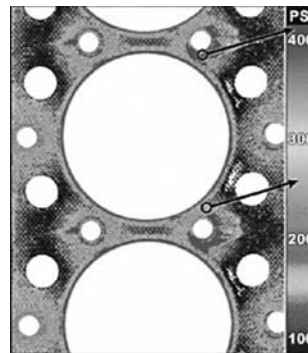
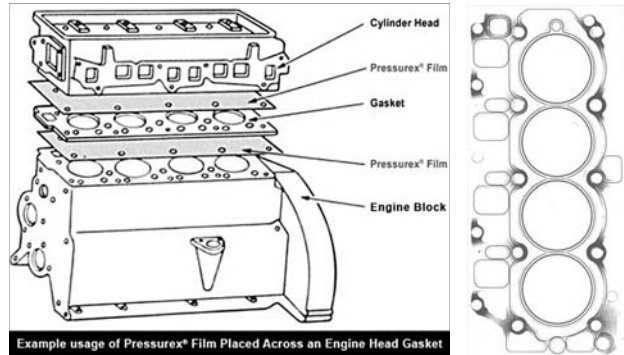
Pressurex представляет собой пленку из лавсана (майлара) толщиной 4, 8 или 20 тысячных дюйма (0,101, 0,202 и 0,508 мм соответственно) со слоем микрокапсул. Давление, приложенное к пленке, вызывает разрыв микрокапсул, при этом формируется картина распределения давления в области контакта. Интенсивность цвета зависит от величины давления. Более темные цвета соответствуют более высокому давлению.

Применение материала Pressurex совместно с прокладками и кольцевыми уплотнениями позволяет проследить, как поверхности соприкасаются и деформируются под влиянием напряжения, что дает возможность выявить дефекты уплотнения. В пневмо- и гидросистемах Pressurex может быть использован для диагностики имеющихся и потенциальных утечек в фитингах, соединителях и штуцерах.

Диапазон измерения давления зависит от толщины пленки, охватывая значения давления от 0,14 до 2960 бар (см. табл.).

Пленка рассчитана на рабочую температуру от 5° до 35 °С при относительной влажности 20–90 %, и может облегать криволинейные поверхности. Пленка является расходным материалом одноразового использования (срок хранения — 2 года).

Тип пленки	Диапазон давления, кг/см ²
Микро (показывает только относительное распределение давлений)	0,14–1,4
Для сверхнизкого давления	2–6
Для особо низкого давления	5–25
Для низкого давления	25–100
Для среднего давления	100–500
Для высокого давления	500–1300
Для сверхвысокого давления	984–3000



Pressurex продается в виде тонких и гибких пластин и нарезается в соответствии с формой исследуемой поверхности. Пленка создает и запоминает цветовой профиль, существующий на момент приложения давления.

Количественно величину давления можно определить при помощи специальных калибровочных карт (color correlation chart), либо отсканировать и оценить с помощью оптической системы анализа изображений, предлагаемых фирмой.

Погрешность измерения при визуальном контроле составляет ±10 %, при использовании системы анализа изображений — ±2 %.

Making an Impact on Pressure Sensing Diesel and Gas Turbine Worldwide, October 2008

ИЗМЕРИТЕЛЬ ВИБРАЦИИ ДЛЯ ГАЗОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Фирма «Altronic, Inc.», Girard, Ohio разработала микропроцессорный измеритель вибрации газового двигателя, предназначенный для защиты двигателей, компрессоров и другого оборудования от выхода из строя из-за вибрации.

Измеритель вибрации Altronic Vibration Sensing Monitor (VSM) — это 32-разрядный прибор с монитором, получающий сигналы от четырех (VSM-400) или восьми (VSM-800) стандартных широкополосных пьезоэлектрических датчиков вибрации, в которых механическая вибрация

преобразуется в электрический сигнал. Уровень вибрации выводится на ЖК-дисплей и сравнивается с допустимым уровнем, задаваемым пользователем. Для каждого канала могут быть заданы два значения уставок.

В случае превышения предельно допустимого значения уровня вибрации на ЖК-дисплей выводится соответствующее сообщение, при этом срабатывают два выходных реле — предупредительного и аварийного сигналов.

Блок VSM с несколькими независимыми каналами может быть использован для измерения вибрации в различных точках конструкции, представляющих наибольший интерес. Можно, например, одновременно измерять уровни вибрации холодильника газового компрессора, каждого из блоков цилиндров двигателя и крейцкопфов компрессора; при этом параметры вибродатчиков подбираются в соответствии с местом установки. Все сигналы обрабатываются одним блоком VSM. Сигналы каждого канала через встроенный интерфейс RS-485 Modbus RTU или по сети могут передаваться в ПК/ПЛК в качестве параметров для диагностики общего технического состояния оборудования.

Управление конфигурацией устройства производится с передней панели с помощью клавиатуры либо с использованием встроенной терминальной программы VSM.

VSM размещается в алюминиевом корпусе 165 × 165 мм с эпоксидным покрытием, обеспечивающим надежную защиту в тяжелых условиях эксплуатации. Все внешние соединения осуществляются через усиленные разъемы типа Phoenix.

*Vibration Sensing For Gaseous-Fueled Engines
Diesel Progress North American Edition,
November 2008*

КЕРАМИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ



Фирма «Kavlico» (Калифорния, США), являющаяся частью группы «Schneider Electric» и входящая в ее подразделение «Custom Sensors & Technologies» (CST), приступила к выпуску новых керамических емкостных датчиков давления, предназначенных для строительных и сельскохозяйственных машин массового производства.

Основная область применения — измерение давления картерных газов, смазочного масла, давления в системах отопления, вентиляции и кондиционирования, а также давления масла в

автоматических трансмиссиях. Датчик, расположенный в латунном корпусе, отличается малыми габаритами и весом (40 г); основная погрешность в номинальном диапазоне температуры (от -30 до 100 °С) не превышает ±1 % от полного диапазона измерения, включая нелинейность, разброс показаний и гистерезис.

По словам представителей «Kavlico» датчики способны надежно работать при высоких значениях ударных нагрузок, электромагнитных помех и вибраций, характерных для специальных транспортных средств.

Диапазон измерения — от 0–1,3 бар до 0–34,47 бар. Питание датчиков осуществляется напряжением 5 В от регулируемого источника постоянного тока; выходной сигнал, пропорциональный давлению, снимается с выводов, конфигурируемых согласно спецификации заказчика. Датчики, рассчитанные на давления от 1,03 до 20,68 бар (максимальные значения), допускают тройную, а остальные — двойную перегрузку по давлению. В датчиках полностью скомпенсирован температурный дрейф, а по стабильности и параметрам ЕМI/ЕМС они соответствуют самым строгим требованиям. Большой выбор конфигураций электрических и пневматических соединений позволяет приспособить датчики к требованиям практически любого конкретного применения.

Помимо стандартных датчиков и преобразователей, «Kavlico» предлагает также нестандартные устройства, производимые по спецификациям заказчика. В частности, заказчик может выбрать конструкционные материалы, вид пневматического соединения, вид электрического соединения, диапазон давления и выходного сигнала, размеры и форму корпуса, а также другие критические рабочие параметры.

Области применения нестандартных устройств включают дизели, бензиновые и газовые двигатели, двигатели на альтернативных топливах и топливные элементы, используемые на шоссейных и внедорожных автомобилях, в строительных и специальных машинах, тепловозах, подъемно-транспортных машинах, различных автофургонах, сельскохозяйственных машинах, генераторах, в военной технике, в авиации и в судостроении.

*Ceramic Pressure Sensors For Off-Highway OEMs
Diesel Progress International September-October 2008*

ЛАЗЕРНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИСКРИВЛЕНИЯ КОЛЕНВАЛА

Немецкая фирма «Prueftechnik» разработала систему CSDcheck на основе лазера для определения искривления коленвалов крупных двигателей внутреннего сгорания и поршневых компрессоров.



В ней использован внутренний электронный инклинометр с лазерным излучателем и отражателем, которые крепятся на щеках коленвала с помощью магнитных фиксаторов (что позволяет выбрать наиболее удобное место крепления). Сначала в систему вводятся геометрические параметры двигателя. Следующий этап — фокусировка лазерного луча, после чего производится поворот коленвала и считывание значений искривления коленвала в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Считанные данные передаются в модуль Bluetooth, а оттуда — в блок обработки данных, в качестве которого может быть использован любой серийный мобильный телефон, в котором применена технология Java. Протокол испытаний сохраняется в формате HTML, впоследствии он может быть закачан в любой компьютер или ноутбук через порт USB.

Система очень компактна и не имеет ограничений, связанных с размерами машины и числом цилиндров. Она избавляет операторов от необходимости находиться в грязном и небезопасном пространстве картера во время измерения.

Laser System Measures Crankshaft Distortion Diesel and Gas Turbine Worldwide, July/August 2008

БЕСКОНТАКТНЫЕ ДАТЧИКИ НА ОСНОВЕ ЭФФЕКТА ПОВЕРХНОСТНОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ

«SenGenuity», подразделение фирмы «Vec-tron International», дополнило линейку своих изделий датчиком вязкости типа ViSmart, который теперь выпускается в виде свертыша. Одновременно выпущены в продажу бесконтактный датчик температуры на основе эффекта поверхностной акустической волны (ПАВ) и автономный аналогово-цифровой выходной концентратор VisConnect. Датчик позволяет осуществлять постоянный контроль в реальном времени вязкости и температуры среды малой и средней вязкости. Он может поставляться с трубной резьбой 12,7 мм типа NPT или BPT.

Исполнение датчика в виде свертыша существенно облегчает его использование в двигателях, трансмиссиях, картерах и баках. Датчик ViSmart, основанный на полупроводниковой технологии, не имеет движущихся частей, и, следовательно, устойчив к вибрациям и влия-



Бесконтактный датчик вязкости

нию потока жидкости. Датчик не требует калибровки, выдерживает температуру до 18 °С, и, являясь полностью герметичным, может работать при полном погружении в жидкость. Его можно подключать к компьютеру или к пульту управления.

Датчик удобно использовать в паре с передатчиком типа VisConnect. Последний представляет собой аналогово-цифровой выходной концентратор, с помощью которого осуществляется преобразование сигнала датчика в стандартный сигнал 4–20 мА и его передача. С выхода преобразователя VisConnect на блок управления постоянно передается информация о значениях вязкости и температуры среды, причем для этого не требуется никакого дополнительного оборудования.

Датчики с преобразователем могут использоваться как в лабораторных условиях, так и на действующем оборудовании.

Еще один новый продукт фирмы — датчик температуры на основе эффекта поверхностной



Бесконтактный датчик температуры

акустической волны типа TFSS433D. Он обеспечивает непрерывное бесконтактное измерение температуры в реальном времени. Датчик отличается высокой точностью и может быть использован в составе дистанционных систем сбора и обработки информации.

TFSS433D — это полупроводниковый датчик, выпускаемый в виде стандартных ленточных чипов и использующий однопортовый ПАВ-резонатор, который работает на частоте 433,786 МГц. Характеристика датчика (т. е. зависимость частоты от температуры) является линейной; он удовлетворяет требованиям стандартов DIN IEC 68 T2-27 по ударостойкости и DIN IEC 68 T2-6 — по вибростойкости.

В сочетании с антенной и дистанционной системой сбора и обработки информации датчик может быть использован в самых различных областях техники. Фирма продолжает работать над расширением температурного диапазона датчиков и сферы их применения.

Sensing New Options At SenGenuity Diesel Progress International Edition, October/November 2008