

# Кварцевые измерительные приборы

## ООО «СКТБ ЭлПА»



Представлены приборы для измерения давления, построенные на базе кварцевых чувствительных элементов, которые обеспечивают высокую точность и стабильность измерений. Такие приборы надежно служат, например, в акватории Сахалина и Курильских островов, предупреждая о стихийных бедствиях. Руководитель российского предприятия «СКТБ ЭлПА» А. В. Поляков рассказывает о строении, принципе действия и преимуществах кварцевых датчиков.

ООО «СКТБ ЭлПА», г. Углич

ООО «Специальное конструкторское техническое бюро электроники, приборостроения и автоматизации» (ООО «СКТБ ЭлПА») из г. Углича известно как разработчик измерительных приборов на базе кварцевых чувствительных элементов. Предприятие является правопреемником филиала «НИИЧаспром», созданного в 1959 году на территории Угличского часового завода «Чайка». «НИИЧаспром» – научное учреждение, создающее системы единого времени высокой точности, а его филиал был основан для обработки в производстве изобретений института. Более 35 лет ООО «СКТБ ЭлПА»

занимается разработкой и изготовлением кварцевых пьезорезонансных устройств, выполняя большой объем НИОКР. Последние 15 лет компания активно разрабатывает и выпускает датчики давления, температуры и массы на базе кварцевых чувствительных элементов – резонаторов-сенсоров.

Благодаря долговременной стабильности монокристаллического кварца и малым изменениям частоты колебаний чувствительного элемента под воздействием температур широкого диапазона (от  $-60$  до  $+250$  °С), датчики на основе кварцевых резонаторов-сенсоров отличаются высокой

точностью, обеспечивая прецизионность измерений. В настоящее время ООО «СКТБ ЭлПА» выпускает датчики с частотными и цифровыми выходными сигналами, поддерживающие различные протоколы и интерфейсы: RS-485, UART, CANopen, I<sup>2</sup>C.

Какое же место занимают сегодня эти высокоточные и высокостабильные приборы на отечественном рынке? Мы обсуждаем с руководителем компании Александром Поляковым характеристики, возможности датчиков и их импортозамещающий потенциал.

## Интервью с А. В. Поляковым, директором ООО «СКТБ ЭлПА»

**ИСУП:** Александр Владимирович! Какие преимущества перед другими сенсорами имеют кварцевые датчики? За счет чего достигается их высокая точность?

**А. В. Поляков:** У кварцевых датчиков важные преимущества. Они способны работать в жестких условиях:

в широком диапазоне температур (от  $-60$  до  $250$  °С), под воздействием высоких давлений (вплоть до 160 МПа), при высокой радиации. При этом они демонстрируют высокую стабильность во времени. Благодаря использованию частотного выходного сигнала датчики могут достигать разрешающей способности на уровне  $3 \times 10^{-7}$  ppm и способ-

ны передавать данные на большие расстояния без потери точности.

**ИСУП:** Расскажите, пожалуйста, об основных задачах вашего автономного регистратора волнения.

**А. В. Поляков:** Автономные регистраторы волнения, или АРВ (рис. 1), предназначены для фиксации зна-



Рис. 1. Автономный регистратор волнения серии АРВ-К14: общий вид

чений гидростатического давления и записи этих значений в энергонезависимую память. Чтобы определить параметры волнения, требуется дополнительная математическая обработка полученных данных. Первые АРВ были разработаны в 2007 году, и с тех пор конструкция и электроника прибора дважды перерабатывались. Основные характеристики АРВ:

- ▶ глубина установки 50 или 100 м;
- ▶ основная приведенная погрешность  $\pm 0,08\%$  ВПИ;
- ▶ разрешающая способность  $0,005\%$  ВПИ;
- ▶ время автономной работы при частоте записи данных 1 раз в секунду — до 420 суток.

Сейчас готовится третья версия АРВ с улучшенными характеристиками.

**ИСУП:** Какое устройство имеют эти приборы (основные элементы конструкции, чувствительные элементы, интерфейсы)?

**А. В. Поляков:** Датчик гидростатического давления оснащен прочным корпусом из нержавеющей стали. Чувствительным элементом (ЧЭ) является кварцевый манометрический резонатор абсолютного давления (РКМА), установленный со стороны подачи измеряемого давления. Для защиты кварцевого ЧЭ от воздействия морской или пресной воды он залит полиуретановым составом. Для компенсации температурной зависимости РКМА рядом расположен термочувствительный кварцевый резонатор РКТ206, частота с которого одновременно используется как для термокомпенсации, так и для расчета температуры. В новой версии автономного регистратора волнения РКМА будет помещен в мембранный блок, заполненный силопередающей жидкостью, что позволит уменьшить время реакции на изменение давления, улучшить долговременную стабильность и увеличить разрешающую способность.

**ИСУП:** Общие технические характеристики автономных регистраторов волнения — это полностью ваши на-

работки и опыт или вы ориентировались на импортное оборудование в целях его замены?

**А. В. Поляков:** Конструкция и полученные характеристики — результат работы команды конструкторов ООО «СКТБ ЭлПА». Заказчик поставил перед нами задачу, и мы ее полностью выполнили. В настоящее время мы сопоставляем характеристики своих приборов с характеристиками зарубежных изделий и как минимум стараемся не отставать, а по некоторым параметрам — превосходить аналоги.

**ИСУП:** Датчики гидростатического давления серии АРВ поставляются в основном государственным и крупным коммерческим заказчиком?

**А. В. Поляков:** На данный момент АРВ в основном применяются Институтом морской геологии и геофизики ДВО РАН в акватории Сахалина и Курильских островов. Наше предприятие разрабатывает и изготавливает инструмент, с помощью которого можно проводить высокоточные измерения. Конечно, для полного замещения импортных систем требуется универсальная математическая обработка получаемых данных, которую институт частично реализовал. Мы надеемся, что в сложившейся из-за санкций ситуации наши датчики, имеющие более низкую стоимость и аналогичные основные технические характеристики, найдут более широкое применение.

**ИСУП:** Давайте поговорим о линейке ваших датчиков давления и температуры, которые применяются на нефтяных и газовых скважинах. Корректно ли будет в дальнейшем срав-

нивать их с решениями зарубежных компаний?

**А. В. Поляков:** По общему принципу построения и основным техническим характеристикам наши датчики сравнимы с решениями зарубежных компаний, но присоединительные размеры и резьбы отличаются, так как мы ориентированы на метрическую систему, а зарубежные компании чаще используют дюймовую. Кроме того, в зарубежных датчиках широко используются интегральные специализированные микросхемы и микросборки, а мы пока применяем электронные компоненты поверхностного монтажа, что является минусом по сравнению с зарубежными решениями в плане надежности. Отставание отечественных решений в области электроники ни для кого не является секретом, но наша компания ведет работу в этом направлении.

**ИСУП:** У вас обширная номенклатура модификаций этих приборов. На какие основные группы они подразделяются?

**А. В. Поляков:** Отличительной особенностью нашей компании является способность выполнять полный цикл разработки датчика, начиная с искусственно выращенного монокристаллического кварца. Поэтому у нас действительно широкая номенклатура модификаций скважинных датчиков, некоторые из них даже не представлены на нашем сайте. Скважинные датчики можно разделить на две основные подгруппы. Датчики для умеренно агрессивных скважин, то есть практически без содержания сероводорода ( $H_2S$ ) и диоксида углерода ( $CO_2$ ), выполнены из нержавеющей сталей 12Х18Н10Т и AISI 321 или их аналогов. Датчики для использования в агрессивных скважинах, то есть с высоким содержанием  $H_2S$  и  $CO_2$ , выполнены из аустенитных никель-хром базированных жаропрочных сплавов (Inconel) и других сплавов



Рис. 2. Кварцевый преобразователь давления и температуры ПДС-35

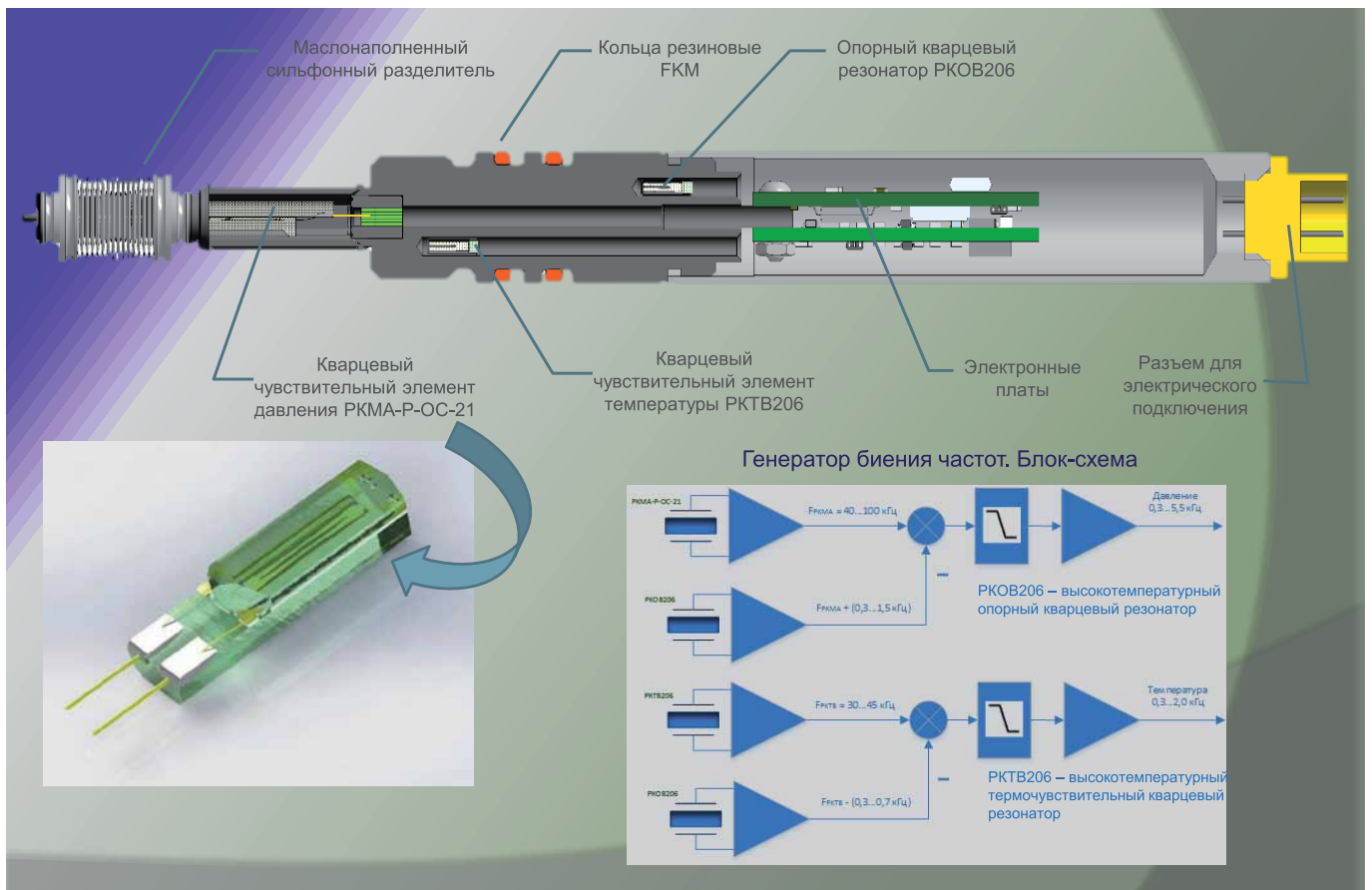


Рис. 3. Схема устройства преобразователя ПДС

на основе никеля (Hastelloy). Также датчики можно подразделить на приборы для измерения среднего давления (до 80 МПа) и высокого давления (до 140 МПа).

**ИСУП:** Расскажите подробнее о чувствительном элементе скважинного датчика, а также о маслонаполненном сифонном разделителе.

**А. В. Поляков:** Кварцевые преобразователи давления и температуры серии ПДС используются для контроля давления в нефтяных и газовых скважинах, то есть работают в агрессивных для кварцевого чувствительного элемента средах. Поэтому маслонаполненный сифонный разделитель из нержавеющей стали выполняет две функции: во-первых, служит для передачи давления на ЧЭ, во-вторых, защищает его от разрушающего воздействия агрессивной среды. Внешний вид преобразователя ПДС представлен на рис. 2, схема его устройства – на рис. 3. Чувствительным элементом такого прибора является кварцевый резонатор РКМА-Р-ОС-21 (резонатор кварцевый манометрический абсолютного давления объемного сжатия, рис. 4). Он

представляет собой рамочный силовый чувствительный пьезорезонансный элемент (ПЭ) камертонного типа, размещенный в вакуумированной полости, которая образована мезаструктурой рамочного ПЭ и плоскостями длинной и короткой крышек резонатора. Все детали резонатора изготовлены из монокристаллического кварца и соединены легкоплавким стеклом. Измеряемое давление воздействует на сифонный разделитель и посредством заполняющей его силопередающей жидкости передается на кварцевый резонатор. В результате крышки, рамка и сило-

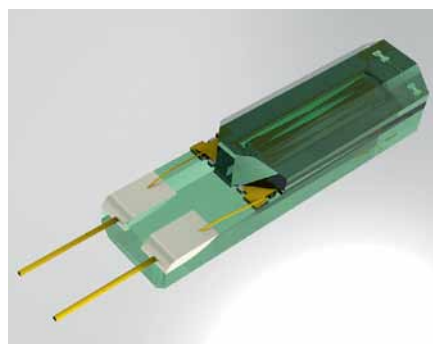


Рис. 4. Кварцевый резонатор РКМА-Р-ОС-21

чувствительный пьезоэлемент сжимаются (или растягиваются), при этом происходит изменение резонансной частоты РКМА, связанное с воздействием давлением функцией преобразования:

$$P = k_0 + \Delta F_p \times [k_1 + \Delta F_p \times (k_2 + k_3 \times \Delta F_p)],$$

где  $P$  – значение измеряемого давления, МПа;

$$k_0 = A_0 + \Delta F_{tk} \times [A_1 + \Delta F_{tk} \times (A_2 + A_{12} \times \Delta F_{tk})],$$

$$k_1 = A_3 + \Delta F_{tk} \times [A_5 + \Delta F_{tk} \times (A_7 + A_{13} \times \Delta F_{tk})],$$

$$k_2 = A_4 + \Delta F_{tk} \times [A_6 + \Delta F_{tk} \times (A_8 + A_{14} \times \Delta F_{tk})],$$

$$k_3 = A_9 + \Delta F_{tk} \times [A_{10} + \Delta F_{tk} \times (A_{11} + A_{15} \times \Delta F_{tk})].$$

$$\Delta F_{tk} = F_{tk} - F_{t0}$$

$$\Delta F_p = F_p - F_{p0},$$

где  $F_p$  – значение частоты выходного сигнала по давлению;

$F_{tk}$  – значение частоты выходного сигнала температурной компенсации;

$A_i$  ( $i = 0...15$ ),  $F_{p0}$ ,  $F_{t0}$  – коэффициенты, определенные в калибровочном диапазоне давлений.

В отличие от ЧЭ зарубежных компаний наш чувствительный элемент низкочастотный, с резонансной частотой от 30 до 60 кГц, благодаря чему имеет меньшие габариты. Это дает конкурентные преимущества как по некоторым динамическим характеристикам, так и по возможностям конструкции корпуса датчика. Например, для датчика на высокие давления мы можем использовать материалы с пределом текучести ( $\sigma_T$ ) всего от 196 МПа: во-первых, они дешевле, во-вторых, легче обрабатываются. Кроме того, при необходимости мы можем уменьшить внешний диаметр датчика до 10 мм. Для сравнения: сейчас минимальный диаметр нашего датчика и датчика фирмы Quartzdyne (США) 13,0 и 12,7 мм соответственно.

**ИСУП:** За счет каких технических решений достигается высокая точность измерений? В частности, как производится градуировка ваших кварцевых датчиков давления?

**А. В. Поляков:** Высокая точность измерения в первую очередь обусловлена применяемыми материалами ЧЭ, а именно монокристаллическим кварцем, который обладает высокой стабильностью, достаточно высокой долговечностью, а также соединительным стеклом, обеспечивающим надежное соединение кварцевых деталей в широком диапазоне рабочих температур. Второй фактор – частотный выходной сигнал, который позволяет проводить измерения без лишнего преобразования токового сигнала, а значит, без

потери точности и разрешающей способности, которая в последних наших разработках достигает 30 Па на фоне верхнего предела измеряемого давления 140 МПа.

Особенность градуировки прецизионных датчиков заключается в одновременном воздействии двух факторов: давления и температуры. Также для достижения высокой точности при градуировке важно учитывать время переходного процесса при изменении давления и температуры. Например, при градуировке в воздушной камере время стабилизации (выдержки) на установленной температуре составляет 2 ч, время перед фиксацией значений с датчика после установки очередного давления может доходить до 10 мин. При градуировке в жидкостном термостате время указанных выдержек сокращается в несколько раз, но усложняются схема и механизм подключения датчиков к эталонному манометру и считывающим устройствам.

**ИСУП:** А по точности, надежности и стоимости скважинных датчиков давления на какое место среди мировых производителей вы себя поставили бы?

**А. В. Поляков:** Так сложилось, что мы находимся в роли догоняющих. Мировыми лидерами на рынке кварцевых скважинных датчиков являются компании Quartzdyne (США), Schlumberger (США, Франция) и Sersel (Франция). Как я уже говорил, по надежности и максимальной рабочей температуре

электроники мы пока уступаем мировым лидерам, но по остальным основным параметрам уже догнали зарубежных конкурентов. Стоимость наших датчиков значительно ниже европейских и американских аналогов.

**ИСУП:** В вашей номенклатуре датчиков давления представлены преобразователи абсолютного давления жидких и газовых сред без разделительной среды ПДА. Насколько я понимаю, они для авиации и калибраторов? Что интересного вы могли бы о них рассказать?

**А. В. Поляков:** Датчики ПДА предназначены для измерения давления сред, неагрессивных к кварцу, металлизации золотом и припою. В основном такие датчики применяются в барометрах и авиационных системах контроля скорости и высоты. Сейчас, после ухода с нашего рынка зарубежных компаний, мы проводим с рядом отечественных производителей совместные разработки прецизионных датчиков для калибраторов давления класса точности 0,01%. В целом, я считаю, у данного направления хорошие перспективы.

Беседовал С. В. Бодрышев,  
главный редактор журнала «ИСУП».

ООО «СКТП ЭлПА», г. Углич,  
тел.: +7 (48532) 546-74,  
e-mail: info@sktbelpa.ru,  
сайт: www.sktbelpa.ru



**ДЕЛОВАЯ ПРОГРАММА:**

- САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ КОНГРЕСС
- КОНФЕРЕНЦИЯ «КРЕПЕЖ. КАЧЕСТВО И ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»
- БИРЖА ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

