

### ▣ Перспективные кварцевые пьезорезонансные датчики давления

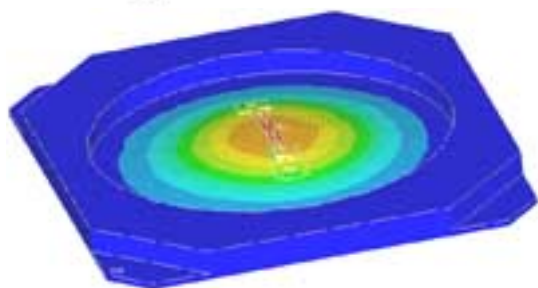
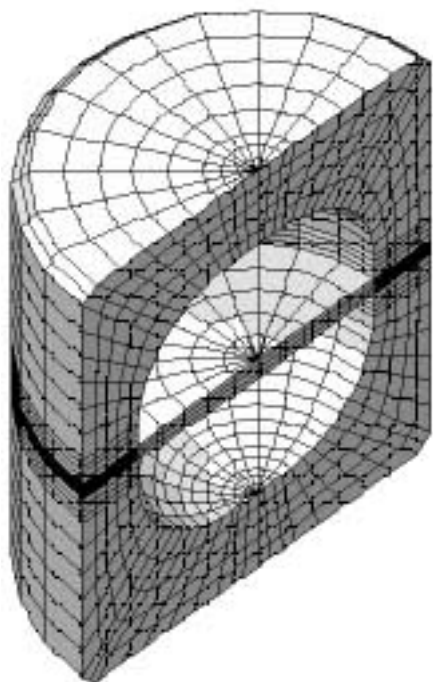
Анализируя сегодняшнюю ситуацию на рынке чувствительных элементов (ЧЭ) датчиков давления, можно выделить следующие основные принципы их действия: пьезорезистивные, емкостные, пьезоэлектрические и пьезорезонансные).

Датчики давления с пьезорезистивными и емкостными ЧЭ используются достаточно широко, описание принципа работы и технических характеристик этих датчиков можно найти у многих производителей, на сайтах и в журналах.

Описание датчиков давления с пьезорезонансными чувствительными элементами (ПЧЭ) пока встречается реже, хотя это направление в России и за рубежом интенсивно развивается.

В качестве ПЧЭ таких датчиков используется пьезоэлектрический резонатор из монокристаллического кварца, который представляет собой электромеханическую систему с использованием явления прямого и обратного пьезоэффекта, объединяющую системы электрического возбуждения механических колебаний и съема

электрического сигнала, пропорционально их амплитуде [1, 2]. Кварцевый пьезоэлемент обычно закрепляется в двух точках или по периметру силопередающей мембраны или балки. Под воздействием давления мембрана или балка деформируется, соответственно частота колебаний пьезоэлемента изменяется пропорционально деформации. На рисунке 1 представлены модели конструкций кварцевых ПЧЭ.



а)

б)

Рис. 1 Модели конструкций кварцевых ПЧЭ:

а) высокочастотный (ВЧ) датчик мембранного сжатия (ФРМ);

б) низкочастотный камертонный мембранного типа ФРМ;

Используя кварцевые ПЧЭ, частота которых изменяется под воздействием на них давления, зарубежные фирмы (такие, как: Quartzdyne, Spartek Systems, EpsonToyocom и др.) разрабатывают и производят ряд прецизионных датчиков давления. Кварцевые датчики давления имеют ряд преимуществ перед датчиками с емкостными и пьезорезистивными ЧЭ. Эти преимущества обусловлены, долговременной стабильностью монокристаллического кварца, из которого изготовлен ПЧЭ датчиков, малым изменением частоты колебаний ПЧЭ при воздействии температуры в широком диапазоне от -60 0С до +150 0С и наличием частотного выходного сигнала.

Все это позволяет получить:

AfrikaansAlbanianArabicArmenianAzerbaijaniBasqueBelarusianBulgarianCatalanChinese (Simplified)Chinese (Traditional)CroatianCzechDanishDetect languageDutchEnglishEstonianFilipinoFinnishFrenchGalicianGeorgianGermanGreekHaitian CreoleHebrewHindiHungarianIcelandicIndonesianIrishItalianJapaneseKoreanLatinLatvianLithuanianMacedonianMalayMalteseNorwegianPersianPolishPortugueseRomanianRussianSerbianSlovakSlovenianSpanishSwahiliSwedishThaiTurkishUkrainianUrduVietnameseWelshYiddish AfrikaansAlbanianArabicArmenianAzerbaijaniBasqueBelarusianBulgarianCatalanChinese (Simplified)Chinese (Traditional)CroatianCzechDanishDutchEnglishEstonianFilipinoFinnishFrenchGalicianGeorgian GermanGreekHaitian CreoleHebrewHindiHungarianIcelandicIndonesianIrishItalianJapaneseKoreanLatinLatvianLithuanianMacedonianMalayMalteseNorwegianPersianPolishPortugueseRomanianRussianSerbianSlovakSlovenianSpanishSwahiliSwedishThaiTurkishUkrainianUrduVietnameseWelshYiddish Detect language » English

AfrikaansAlbanianArabicArmenianAzerbaijaniBasqueBelarusianBulgarianCatalanChinese (Simplified)Chinese (Traditional)CroatianCzechDanishDetect languageDutchEnglishEstonianFilipinoFinnishFrenchGalicianGeorgianGermanGreekHaitian CreoleHebrewHindiHungarianIcelandicIndonesianIrishItalianJapaneseKoreanLatinLatvianLithuanianMacedonianMalayMalteseNorwegianPersianPolishPortugueseRomanianRussianSerbianSlovakSlovenianSpanishSwahiliSwedishThaiTurkishUkrainianUrduVietnameseWelshYiddish AfrikaansAlbanianArabicArmenianAzerbaijaniBasqueBelarusianBulgarianCatalanChinese

(Simplified)Chinese

(Traditional)CroatianCzechDanishDutchEnglishEstonianFilipinoFinnishFrenchGalicianGeorgian  
GermanGreekHaitian

CreoleHebrewHindiHungarianIcelandicIndonesianIrishItalianJapaneseKoreanLatinLatvianLithua  
nianMacedonianMalayMalteseNorwegianPersianPolishPortugueseRomanianRussianSerbianSI  
ovakSlovenianSpanishSwahiliSwedishThaiTurkishUkrainianUrduVietnameseWelshYiddish

Detect language » English

- высокую разрешающую способность (порядка 0,001 % ВПИ);

AfrikaansAlbanianArabicArmenianAzerbaijaniBasqueBelarusianBulgarianCatalanChinese  
(Simplified)Chinese (Traditional)CroatianCzechDanishDetect

languageDutchEnglishEstonianFilipinoFinnishFrenchGalicianGeorgianGermanGreekHaitian  
CreoleHebrewHindiHungarianIcelandicIndonesianIrishItalianJapaneseKoreanLatinLatvianLithua  
nianMacedonianMalayMalteseNorwegianPersianPolishPortugueseRomanianRussianSerbianSI  
ovakSlovenianSpanishSwahiliSwedishThaiTurkishUkrainianUrduVietnameseWelshYiddish

AfrikaansAlbanianArabicArmenianAzerbaijaniBasqueBelarusianBulgarianCatalanChinese  
(Simplified)Chinese

(Traditional)CroatianCzechDanishDutchEnglishEstonianFilipinoFinnishFrenchGalicianGeorgian  
GermanGreekHaitian

CreoleHebrewHindiHungarianIcelandicIndonesianIrishItalianJapaneseKoreanLatinLatvianLithua  
nianMacedonianMalayMalteseNorwegianPersianPolishPortugueseRomanianRussianSerbianSI  
ovakSlovenianSpanishSwahiliSwedishThaiTurkishUkrainianUrduVietnameseWelshYiddish

English (auto-detected) » English

AfrikaansAlbanianArabicArmenianAzerbaijaniBasqueBelarusianBulgarianCatalanChinese  
(Simplified)Chinese (Traditional)CroatianCzechDanishDetect

languageDutchEnglishEstonianFilipinoFinnishFrenchGalicianGeorgianGermanGreekHaitian  
CreoleHebrewHindiHungarianIcelandicIndonesianIrishItalianJapaneseKoreanLatinLatvianLithua  
nianMacedonianMalayMalteseNorwegianPersianPolishPortugueseRomanianRussianSerbianSI  
ovakSlovenianSpanishSwahiliSwedishThaiTurkishUkrainianUrduVietnameseWelshYiddish

AfrikaansAlbanianArabicArmenianAzerbaijaniBasqueBelarusianBulgarianCatalanChinese  
(Simplified)Chinese

(Traditional)CroatianCzechDanishDutchEnglishEstonianFilipinoFinnishFrenchGalicianGeorgian  
GermanGreekHaitian

CreoleHebrewHindiHungarianIcelandicIndonesianIrishItalianJapaneseKoreanLatinLatvianLithua  
nianMacedonianMalayMalteseNorwegianPersianPolishPortugueseRomanianRussianSerbianSI  
ovakSlovenianSpanishSwahiliSwedishThaiTurkishUkrainianUrduVietnameseWelshYiddish

Detect language » English

AfrikaansAlbanianArabicArmenianAzerbaijaniBasqueBelarusianBulgarianCatalanChinese (Simplified)Chinese (Traditional)CroatianCzechDanishDetect languageDutchEnglishEstonianFilipinoFinnishFrenchGalicianGeorgianGermanGreekHaitian CreoleHebrewHindiHungarianIcelandicIndonesianIrishItalianJapaneseKoreanLatinLatvianLithuanianMacedonianMalayMalteseNorwegianPersianPolishPortugueseRomanianRussianSerbianSlovakSlovenianSpanishSwahiliSwedishThaiTurkishUkrainianUrduVietnameseWelshYiddish

AfrikaansAlbanianArabicArmenianAzerbaijaniBasqueBelarusianBulgarianCatalanChinese (Simplified)Chinese (Traditional)CroatianCzechDanishDutchEnglishEstonianFilipinoFinnishFrenchGalicianGeorgian GermanGreekHaitian CreoleHebrewHindiHungarianIcelandicIndonesianIrishItalianJapaneseKoreanLatinLatvianLithuanianMacedonianMalayMalteseNorwegianPersianPolishPortugueseRomanianRussianSerbianSlovakSlovenianSpanishSwahiliSwedishThaiTurkishUkrainianUrduVietnameseWelshYiddish  
Detect language » English

AfrikaansAlbanianArabicArmenianAzerbaijaniBasqueBelarusianBulgarianCatalanChinese (Simplified)Chinese (Traditional)CroatianCzechDanishDetect languageDutchEnglishEstonianFilipinoFinnishFrenchGalicianGeorgianGermanGreekHaitian CreoleHebrewHindiHungarianIcelandicIndonesianIrishItalianJapaneseKoreanLatinLatvianLithuanianMacedonianMalayMalteseNorwegianPersianPolishPortugueseRomanianRussianSerbianSlovakSlovenianSpanishSwahiliSwedishThaiTurkishUkrainianUrduVietnameseWelshYiddish

AfrikaansAlbanianArabicArmenianAzerbaijaniBasqueBelarusianBulgarianCatalanChinese (Simplified)Chinese (Traditional)CroatianCzechDanishDutchEnglishEstonianFilipinoFinnishFrenchGalicianGeorgian GermanGreekHaitian CreoleHebrewHindiHungarianIcelandicIndonesianIrishItalianJapaneseKoreanLatinLatvianLithuanianMacedonianMalayMalteseNorwegianPersianPolishPortugueseRomanianRussianSerbianSlovakSlovenianSpanishSwahiliSwedishThaiTurkishUkrainianUrduVietnameseWelshYiddish  
Detect language » English

- высокую точность измерения давления (порядка 0,01 % ВПИ) в широком диапазоне температур, которая обусловлена высокой добротностью, выбором угла среза монокристаллического кварца с низкой температурной зависимостью, подбором соединительных материалов, конструкцией закрепления ПЧЭ в корпусе датчика,

алгоритмом компенсации влияния температуры;

- долговременную стабильность (порядка 0,01% ВПИ за год)

Fig. 3 Temperature detector piezoelectric Figure 4 shows graphs illustrate the characteristics of the domestic quartz sensors with frequency and digital outputs. AfrikaansAlbanianArabicArmenianAzerbaijaniBasqueBelarusianBulgarianCatalanChinese (Simplified)Chinese (Traditional)CroatianCzechDanishDetect languageDutchEnglishEstonianFilipinoFinnishFrenchGalicianGeorgianGermanGreekHaitian CreoleHebrewHindiHungarianIcelandicIndonesianIrishItalianJapaneseKoreanLatinLatvianLithuanianMacedonianMalayMalteseNorwegianPersianPolishPortugueseRomanianRussianSerbianSlovakSlovenianSpanishSwahiliSwedishThaiTurkishUkrainianUrduVietnameseWelshYiddish

AfrikaansAlbanianArabicArmenianAzerbaijaniBasqueBelarusianBulgarianCatalanChinese (Simplified)Chinese (Traditional)CroatianCzechDanishDutchEnglishEstonianFilipinoFinnishFrenchGalicianGeorgian GermanGreekHaitian CreoleHebrewHindiHungarianIcelandicIndonesianIrishItalianJapaneseKoreanLatinLatvianLithuanianMacedonianMalayMalteseNorwegianPersianPolishPortugueseRomanianRussianSerbianSlovakSlovenianSpanishSwahiliSwedishThaiTurkishUkrainianUrduVietnameseWelshYiddish Detect language » English

- возможность работы в широком диапазоне температур от криогенных до 250 0C;

- возможность исключить из измерительного канала АЦП, который является источником дополнительной погрешности;

- возможность оперировать сигналом с помощью микропроцессора.

Кроме того кварцевые ПЧЭ являются стойкими к радиации, что расширяет область их применения.

Датчики с кварцевыми ПЧЭ применяются в качестве эталонов в калибраторах таких

фирм как: Druc GE (Великобритания); Ruska (США); Artvik (США); Fluke (США), используются в прецизионных барометрах, также применяются для измерения гидростатических давлений и давлений в нефтяных и газовых скважинах фирмами: Epson Toyocom (Япония); Aanderaa (Норвегия); Quartzdyne (США); Schlumberger (Франция) и др.,

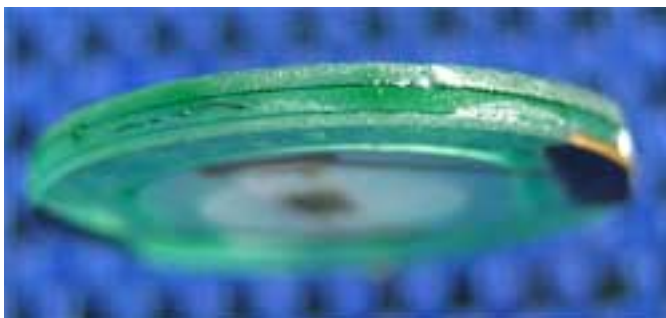
Отдельно надо отметить ЧЭ с кремниевыми резонаторами и датчики давления на их основе фирмы Yokogawa (Япония), которые тоже являются частотными и по своим характеристикам приближены к кварцу, но имеют ограничения по радиационной стойкости без специальной подготовки.

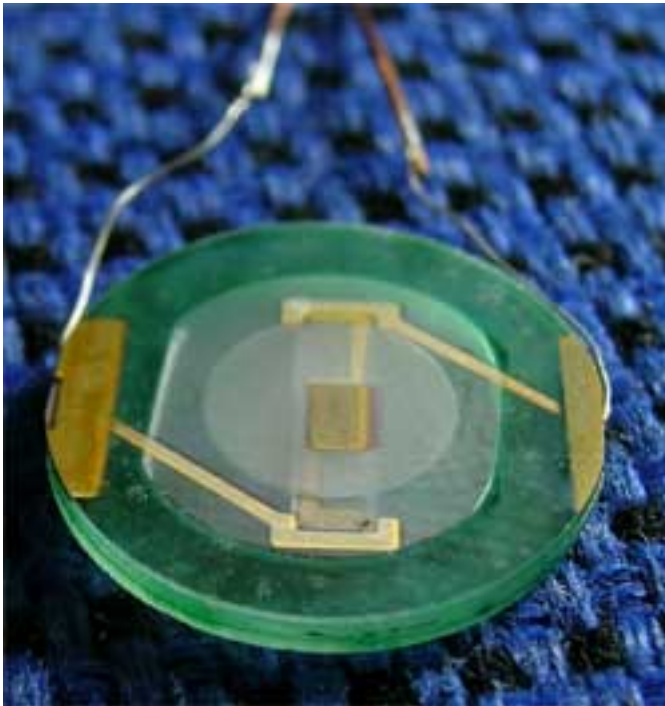
Российские предприятия также разрабатывают и производят кварцевые манометрические и термочувствительные ПЧЭ на основе которых изготавливаются датчики давления и температуры, обладающие техническими характеристиками, близкими к зарубежным аналогам.

Основным разработчиком и производителем кварцевых ПЧЭ в России является ООО «СКТБ ЭлПА», оно выпускает два типа кварцевых манометрических ПЧЭ абсолютного давления:

1) мембранного типа на ряд давлений от 0,0007 до 25 МПа см. Рис.1 (б) и Рис. 2;

2) объемного сжатия на ряд давлений от 0,02 до 150 МПа.





а)  
Рис. 2

б)

Кварцевый ПЧЭ мембранного типа с тензочувствительными элементами

В них качестве тензочувствительного элемента применяется сдвоенный камертонный низкочастотный пьезоэлемент на частоты от 40 до 50 кГц или полосковый ВЧ пьезоэлемент на частоту 10 МГц.

Для получения воспроизводимых упругих свойств и минимальной воспроизводимой температурной зависимости тензочувствительные элементы соединенные с силопередающей мембраной или балкой находятся в вакуумированном корпусе ПЧЭ выполненном также из монокристаллического кварца. Все соединения элементов ПЧЭ производятся легкоплавким стеклом с подобранным ТКЛР. Температура плавления стекла около 500 °С. На рисунке 2 а) показаны соединенные между собой мембрана, прокладка и крышка ПЧЭ. Толщина соединительного стекла не более 30 мкм.

Дополнительная температурная погрешность у манометрических ПЧЭ в рабочем диапазоне температур в зависимости от конструкции может варьироваться от 220 ppm до 1330

ppm

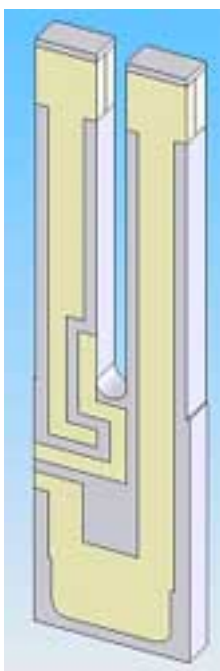
, что составляет 0,5 %

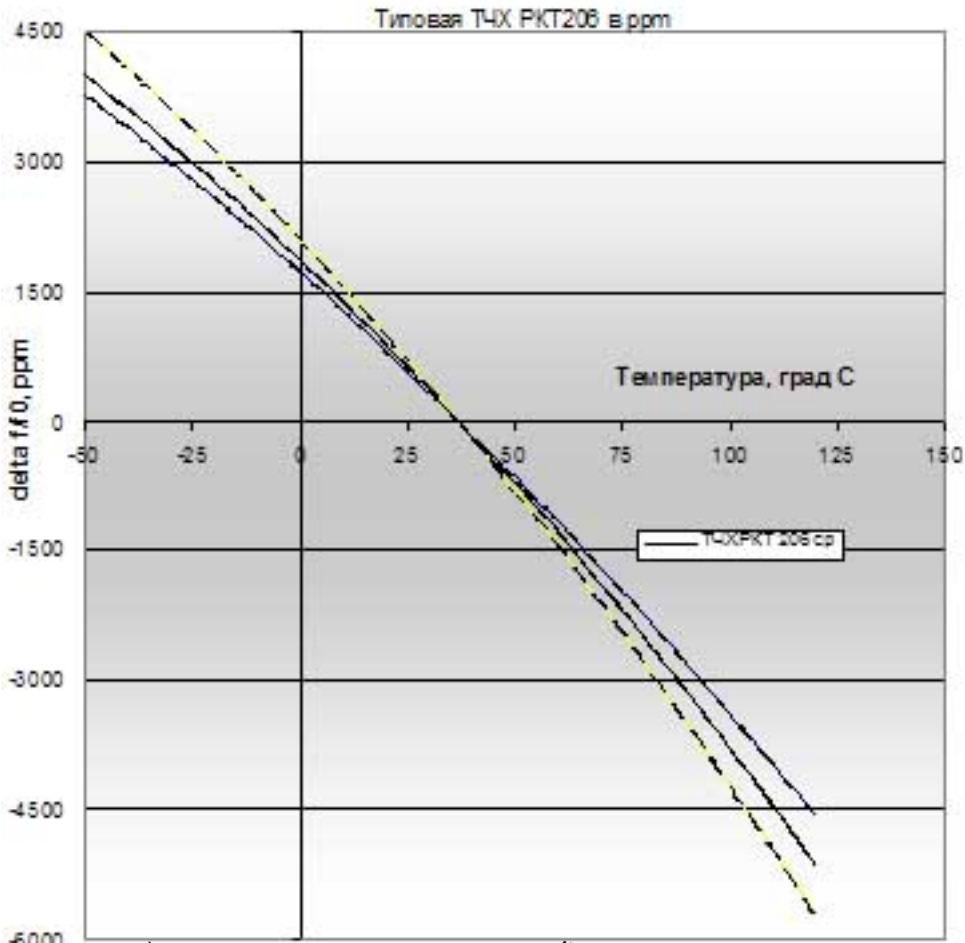
и 3% соответственно относительно максимального изменения частоты в рабочем диапазоне давлений.

В кварцевых датчиках давления для компенсации дополнительной температурной



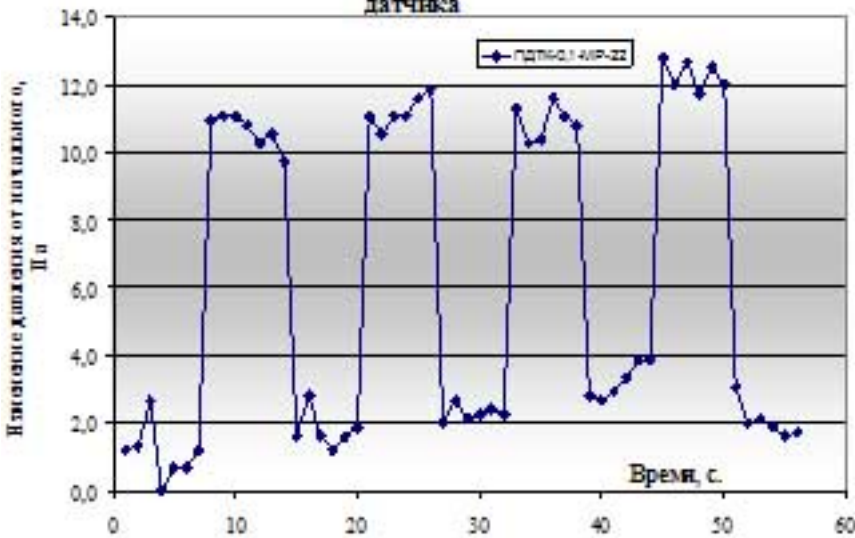
погрешности манометрических ПЧЭ используются резонаторы кварцевые термочувствительные (РКТ) частота которых изменяется в зависимости от температуры. На рисунке 3 представлен термочувствительный пьезоэлемент с электродной системой а) и типовая температурночастотная характеристика (ТЧХ) РКТ б). ТЧХ описывается параболической функцией с теоретической точкой экстремума около  $-290\text{ }^{\circ}\text{C}$ .





Величина температурного коэффициента частоты характеризует температурную стабильность резонатора. Чем меньше температурный коэффициент частоты, тем стабильнее частота резонатора.

Разрешающая способность кварцевого барометрического датчика



Влияние смены температуры (от 0 0С до 70 0С)  
на показания скважинного кварцевого  
преобразователя ПДТК-80,0-МС23 с  
температурной компенсацией

