

Индикатор отображает содержание влаги в пробе анализируемого газа. С помощью устройства ввода/вывода осуществляется передача сигнала из контроллера (микро-ЭВМ) другим устройствам.

Обоснование выбора метода измерения, диапазона инфракрасного спектра, использование тестовых методов повышения точности позволили осуществить разработку оптического устройства контроля влажности природного газа, обладающего рядом преимуществ, а именно:

- высоким быстродействием (принцип действия не связан с сорбционными процессами и с измерением температуры точки росы);
- высокой точностью измерения (оптический метод и избыточность системы за счет введения в нее дополнительных ячеек измерения);
- высокой надежностью (бесконтактный характер измерения).

Библиографический список

1. *Бромберг, Э. М.* Тестовые методы повышения точности измерений / Э. М. Бромберг, К. Л. Куликовский. – М. : Энергия, 1978. – 176 с.

2. *Зайнутдинов, Р. А.* Оптическое устройство измерения влажности природного газа на основе контроля поглощения и рассеяния инфракрасного излучения / Р. А. Зайнутдинов, А. И. Ключников // Инновационные технологии в управлении, образовании, промышленности «АСТИНТЕХ – 2009» : мат-лы Междунар. науч. конф. (11–14 мая 2009 г.) / сост. И. Ю. Петрова. – Астрахань : Изд. дом «Астраханский университет», 2009. – С. 202–204.

УДК 654.9

ИЗМЕРЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ РЕГУЛИРУЕМОЙ ЛИНИИ ЗАДЕРЖКИ НА ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛНАХ*

**Г.Я. Карапетьян, В.Г. Днепровский,
В.Ф. Катаев, С.С. Старыгин, Д.В. Сердюков**

Разработано и изготовлено устройство для измерения перемещений с помощью регулируемой линии задержки на поверхностных акустических волнах (ПАВ). Измерение перемещений осуществляется за счет того, что изменяется задержка сигнала, отраженного от валика, перемещающегося вдоль поверхности распространения ПАВ в линии задержки. Такое устройство может работать в режиме отражения опрашивающего электромагнитного сигнала, т.е. быть пассивным и беспроводным. Максимальное измеряемое перемещение в таком датчике равно 14 мм с точностью $\pm 0,1$ мм.

Ключевые слова: *поверхностные акустические волны, перемещение, встречно-штыревой преобразователь.*

Key words: *surface acoustic wave, moving, interdigital transducer.*

Дистанционный контроль физических параметров (давления, температуры, влажности, напряженного состояния, радиационного фона) в настоящее время решается с помощью различных датчиков по радиосигналу, т.е. к датчику прилагается радиопередатчик, который

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №10-08-00700-а.

КОНСТРУИРОВАНИЕ ДАТЧИКОВ, ПРИБОРОВ И СИСТЕМ

осуществляет беспроводную передачу информации от датчика. Для передатчика требуется источник питания, который надо иногда заменять. Однако датчик может быть установлен в труднодоступном месте или в условиях, когда для замены источника питания необходимо останавливать работу объекта, что не всегда возможно.

Описанный в работе [1] датчик перемещения на поверхностных акустических волнах содержит две линии задержки на ПАВ, закрепленные к разным, перемещающимся относительно друг друга поверхностям. На одной линии задержки находится приемо-передающий встречно-штыревой преобразователь (ВШП), который взаимодействует со считывателем либо непосредственно, либо через антенны, а на второй линии задержки расположен отражающий ВШП. Время прихода отраженного импульса зависит от расстояния между ВШП, которое может меняться благодаря перемещению звукопровода относительно друг друга. Измеряя это время, можно определять перемещение одного звукопровода относительно другого. Зазор между этими линиями задержки должен быть порядка длины волны. Это означает, что на высоких частотах, где длина ПАВ порядка несколько микрон, необходимо выставлять зазор между линиями задержки также порядка несколько микрон, что существенно усложняет конструкцию данного датчика. В датчике, предлагаемом в данной работе, вторая линия задержки отсутствует вообще, а отражательный ВШП заменен валиком, который может перемещаться вдоль поверхности звукопровода и от которого происходит отражение ПАВ. Здесь так же, как в предыдущем случае, время прихода отраженного импульса зависит от расстояния между ВШП и валиком, что позволяет измерять изменение расстояния между ВШП и валиком.

Устройство для измерения перемещений представляет собой линию задержки на ПАВ, содержащую один приемо-передающий однонаправленный ВШП (см. рис. 1). Вдоль рабочей поверхности данной ЛЗ перемещается пластмассовый валик диаметром 4 мм. Валик находится на пути распространения ПАВ. Так как валик находится непосредственно на поверхности, вдоль которой распространяются ПАВ, то это приводит к изменению граничных условий на поверхности в месте касания валика, что вызывает изменение скорости ПАВ в области касания валика пьеподложки, а следовательно, приводит к отражению ПАВ от области касания. Однонаправленный ВШП [2] расположен на подложке $YX/128^\circ$ – срезе ниобата лития, имеет период 42 мкм, содержит 17 внутренних отражателей. Апертура ВШП равна 40 длинам ПАВ на частоте акустического синхронизма (93 МГц), что приводит к хорошему согласованию импеданса ВШП в 50-омном тракте.

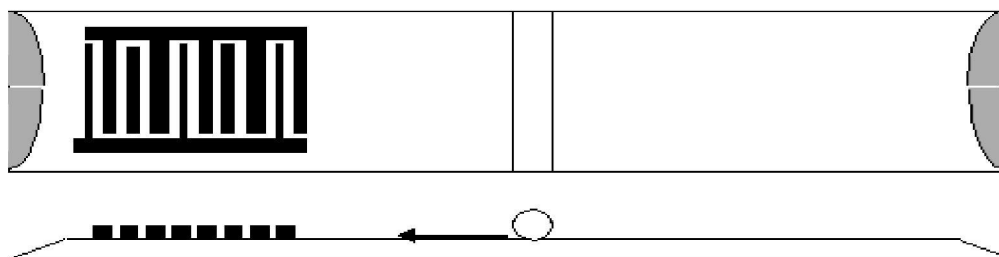


Рис. 1. Конструкция линии задержки на ПАВ

Края подложек сточены под углом примерно $25-30^\circ$ и заполированы, как показано на рис. 1, на них нанесен акустопоглотитель. Это необходимо для уменьшения отражений ПАВ от краев подложки, которые искажают амплитудно-частотные и фазочастотные характеристики.

Устройство для измерения перемещений изготавливается в метало-стеклянном корпусе типа «Терек» с 28 ножками и размерами 29×40 мм.

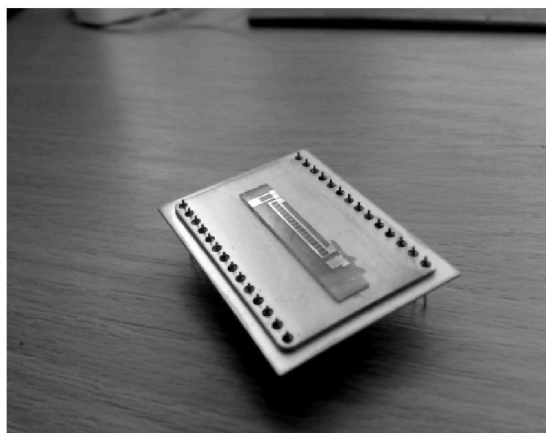


Рис. 2. ПАВ-датчик расстояния, где устройство перемещения валика находится в крышке

На рис. 2 показан корпус с приклеенной на нем пьезоподложкой, а на рис. 3 – крышка, специально сделанная из жести. В этой крышке сделана направляющая из проволоки, по которой перемещается кусок полиэтиленовой трубки, длина которой равна ширине корпуса. Это позволяет избавиться от смещений в направлении, перпендикулярном направлению перемещения валика. В этом случае концы П-образной пружинящей проволоки упираются в дно крышки, что обеспечивает надежное прижимание валика к пьезоподложке и не зависит от свойств полиэтиленовой трубки.

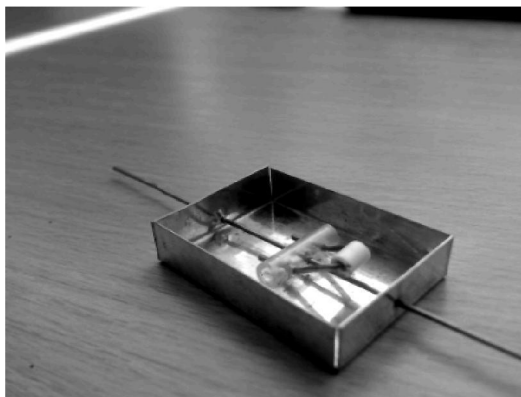


Рис. 3. Конструкция механизма перемещения валика в крышке корпуса

На рис. 4 показана конструкция датчика на ПАВ.

Устройство для измерения перемещений содержит звукопровод 1, на рабочей поверхности расположен приемо-передающий ВШП2, корпус 3, на который приклеен звукопровод 1. ВШП с помощью золотых выводов 12 подсоединен к выводам корпуса 11. В крышке 5 расположен прижимной валик 6, который прижимается к звукопроводу 1 с помощью П-образной пружины 9. Концы П-образной пружины 9 проходят через пластмассовую трубку 7, через которую проходит шток 8, с помощью которого валик 6 может перемещаться по поверхности звукопровода 1, и упираются в крышку 5, что и обеспечивает необходимый прижим валика к поверхности звукопровода. Параллельность хода валика 6 обеспечивается штоком 8, который расположен параллельно направлению распространения ПАВ, а также тем, что длина трубки 7 равна ширине крышки 5 корпуса 3.

КОНСТРУИРОВАНИЕ ДАТЧИКОВ, ПРИБОРОВ И СИСТЕМ

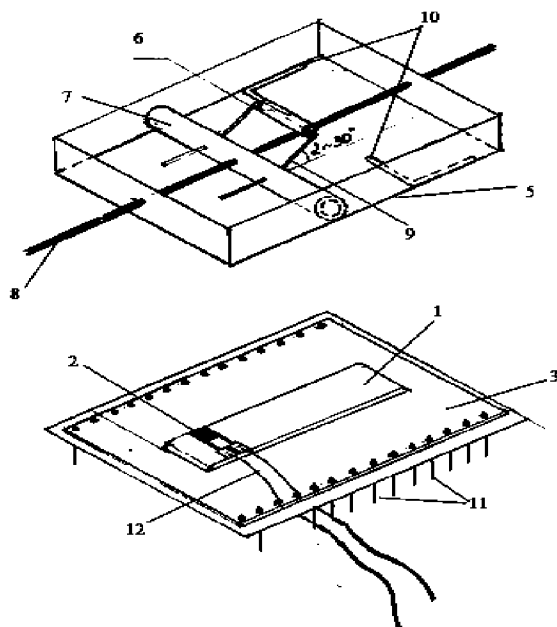


Рис. 4. Конструкция датчика

При сильном прижиге валика на поверхность он расплющивается, и площадь контакта валика с поверхностью увеличивается, что ведет к поглощению ПАВ материалом валика, следовательно, к уменьшению коэффициента отражения от него. При слабом прижиге площадь контакта меньше, затухания ПАВ под ним тоже меньше, в виду уменьшения давления изменение состояния поверхности меньше, чем в предыдущем случае, что также приводит к уменьшению коэффициента отражения. Поэтому существует оптимальное давление валика на поверхность, при котором коэффициент отражения будет максимальным, что экспериментально подбиралось с помощью П-образной пружины, на которой находится валик.

Устройство для измерения перемещений работает следующим образом. Перед проведением измерений валик устанавливается в положение с помощью штока 8, при котором задержка сигнала между ВШП и отраженным от валика сигналом минимальна, что обеспечивается конструкцией датчика. Считыватель посылает опрашивающий электромагнитный импульс, который преобразуется в поверхностные акустические волны (ПАВ) с помощью приемопередающего ВШП 2. Эти ПАВ, встречая на своем пути валик 6, прижатый к поверхности звукопровода, частично от него отражаются, принимаются приемопередающим и снова преобразуются в электромагнитный сигнал, который принимается приемником считывателя.

Задержка этого сигнала, очевидно, зависит от местоположения валика относительно приемопередающего ВШП. Зная эту задержку и скорость ПАВ в данной линии задержки, можно определить расстояние, на которое переместился валик относительно ВШП2. Тогда измеряемое расстояние можно определить как разность расстояния между первоначальным положением валика и положением валика после проведения измерения (валик перемещается с помощью штока 8), т.е. измеренное расстояние $l_{изм} = V_{ПАВ} \cdot (\tau_2 - \tau_1)$, где τ_1 – задержка сигнала, отраженного от валика, в первоначальном положении, τ_2 – задержка сигнала, отраженного от валика, после проведения измерений, $V_{ПАВ}$ – скорость ПАВ в звукопроводе. С помощью пластмассовой трубки 7, которая двигается штоком 8, который служит направляющей для ее движения, обеспечивается прямолинейное движение валика вдоль звукопровода, что и обеспечивает линейную зависимость задержки отраженного сигнала от расстояния между вали-

ком и ВШП. Постоянный прижим валика обеспечивается П-образной пружиной 9, которая упирается в дно крышки, параллельное звукопроводу. Таким образом, при движении валика вдоль звукопровода коэффициент отражения ПАВ от него постоянен, а задержка линейно зависит от расстояния между ВШП и валиком.

Устройство для измерения перемещений выполнено на звукопроводе 1 из УХ/127⁰ – среза ниобата лития размерами $28 \times 5 \times 0,5$ мм. Размеры корпуса 29×39 мм. ВШП2 с внутренними отражателями с периодом в две длины ПАВ на центральной частоте $f_0 = 93$ МГц и длиной в 33 длины ПАВ, что обеспечивает однонаправленный режим в 15 дБ. Коэффициент отражения от валика равен 0,3 и меняется по мере перемещения валика в пределах 10 %. Ход валика – 14 мм.

Для измерения расстояний на ВШП находится специальное устройство, которое формирует радиоимпульсы с частотой, равной частоте акустического синхронизма ВШП. Этот импульс преобразуется ВШП в акустический импульс ПАВ, который отражается от валика и попадает опять на ВШП. За это время в специальном устройстве происходит переключение, и ВШП подключается на вход цифрового осциллографа В421 (см. рис. 5).

С осциллографа сигнал в цифровом виде подается на компьютер, где он обрабатывается специальной программой, позволяющей определить время задержки. Далее по определенной задержке и скорости ПАВ при заданной температуре (вводится в программу как данное) определяется расстояние.

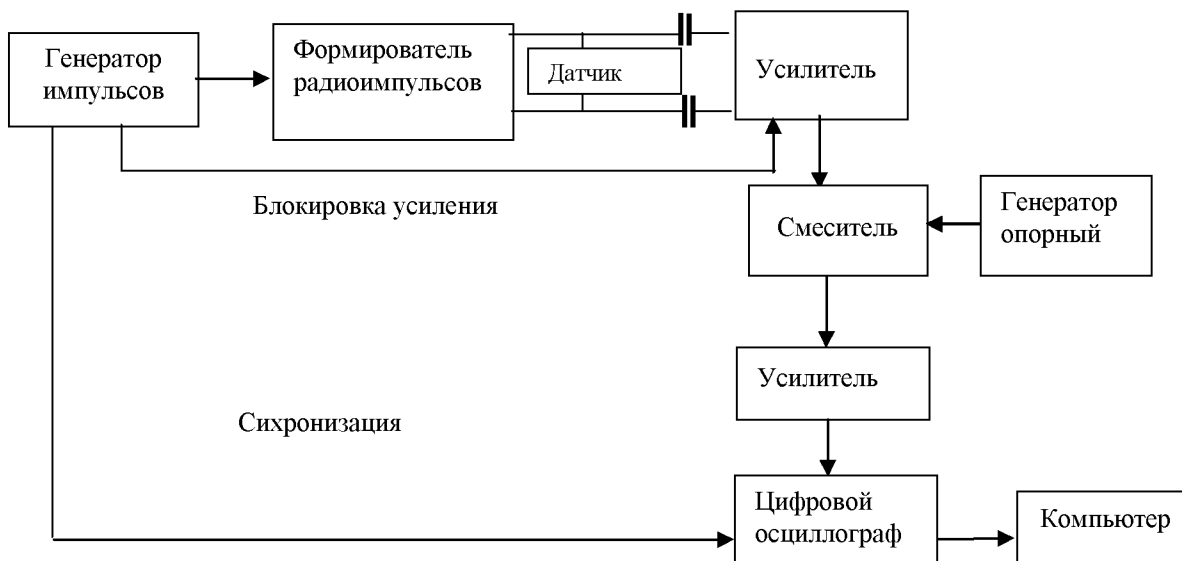


Рис. 5. Блок-схема специального устройства

Генератор импульсов формирует прямоугольные импульсы со скважностью до 1 : 100, которые подаются на формирователь радиоимпульсов, где содержится генератор непрерывных колебаний с частотой, равной частоте акустического синхронизма ВШП датчика. Далее сформированные радиоимпульсы подаются на ВШП датчика, а далее на усилитель. Одновременно на усилитель подаются с генератора импульсов импульсы, блокирующие усилитель в начальный момент, чтобы не перегружать его. Таким образом, усилитель будет усиливать только отраженные в датчике радиоимпульсы, а во время подачи на ВШП возбуждающего радиоимпульса усилитель будет блокирован. Далее усиленный сигнал подается на смеситель, который формирует радиоимпульсы с частотой заполнения, равной разности частот первоначального радиоимпульса и частоты опорного генератора. В данном случае полу-

КОНСТРУИРОВАНИЕ ДАТЧИКОВ, ПРИБОРОВ И СИСТЕМ

чается, что частота заполнения равна 2 МГц. Далее сигнал поступает на цифровой осциллограф, а затем на компьютер, где с помощью специальной программы производится обработка данных, поступивших от датчика, и определяется измеряемое расстояние.

Для контроля устройства для измерения перемещений его помещают в специальную конструкцию (см. рис. 6) с линейкой, позволяющей непосредственно измерять перемещение. В этой конструкции устройство для измерения перемещений устанавливается в углублении в пенопласте, а шток датчика перемещения зажимается и ставится до упора в положение, когда валик находится на самом близком расстоянии от ВШП. Одновременно риска на линейке выставляется на нуль. Устройство в этом случае измеряет расстояние от ВШП до валика. Далее это расстояние зануляется перемещением штока одновременно с рисккой, которая выставляется на 5 мм. В этом случае показания датчика должны быть близки к показаниям линейки.

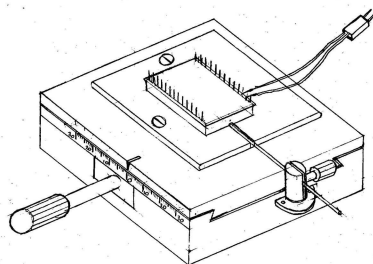


Рис. 6. Устройство для контроля датчика перемещения

Ширина делений равна около 0,1 мм. Поэтому измерения с помощью такой линейки можем производить с точностью $\pm 0,1$ мм.

Такой точности в ряде случаев достаточно для определения недопустимых деформаций строительных сооружений.

На рис. 7 показаны осциллограммы, снятые с устройства для измерения перемещений при различных расстояниях отражающего валика от ВШП. Положение валика фиксируется по линейке относительно ближайшего расстояния валика от ВШП. Это расстояние выставляется при передвижении штока датчика до упора (по рис. 6 это соответствует наибольшей длине штока между датчиком и креплением штока).

Ниже в таблице приведены результаты измерений расстояний с помощью линейки и датчиком на устройстве контроля датчика перемещения (см. рис. 6).

Таблица

Результаты измерения расстояний

Измерение	Положение по линейке, мм	Результат, полученный программно, мм
1	$0 \pm 0,1$	0,01
2	$1 \pm 0,1$	1,04
3	$3 \pm 0,1$	2,99
4	$5 \pm 0,1$	5,02
5	$10 \pm 0,1$	9,97
6	$14 \pm 0,1$	13,98

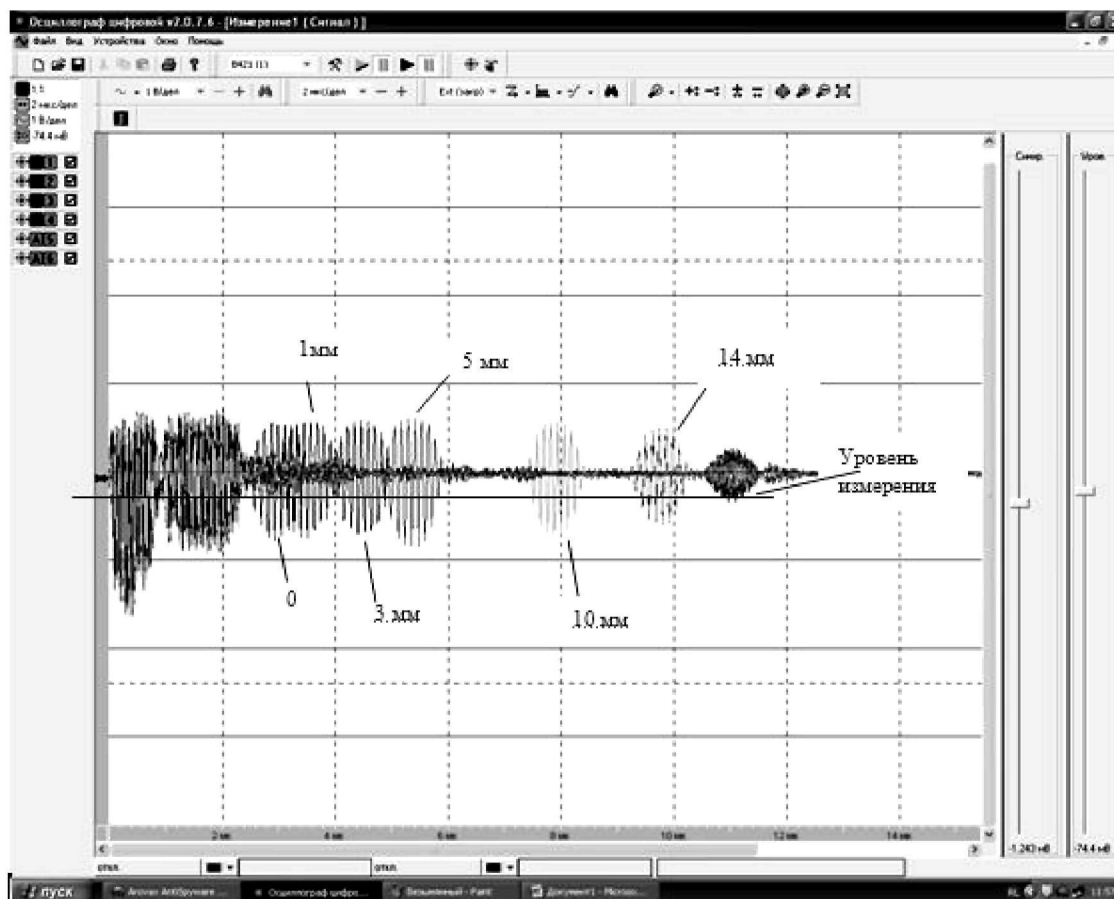


Рис. 7. Осциллограммы измерения датчика

Смещение датчика

5.02168 мм.

Параметры измерения	
	Значение
Скорость ПАВ, м/с	3984
Темп. коэф. *1E-6, 1/С	80
Температура, С	25
Начало отсчета, мкс	2.4
Конец отсчета, мкс	10.4

Параметры калибровки	
Число замеров:	10
Задержка:	1 с.
<input type="button" value="Калибровка"/>	

Параметры запуска	
Задержка:	10 с.
<input type="button" value="Stop"/>	

Рис. 8. Главное окно программы

Результаты работы программы показаны на рис. 8. В области «Смещение датчика» показано положение валика на поверхности звукопровода (относительно расстояния при максимальном приближении валика к ВШП), выраженное в метрических единицах длины (в нашем случае в миллиметрах). Индикатор прогресса ведет отсчет времени до следующего

КОНСТРУИРОВАНИЕ ДАТЧИКОВ, ПРИБОРОВ И СИСТЕМ

опроса датчика. Данные в области «Параметры измерения» заполнялись следующим образом (данные приведены для ниобата лития):

- 1) скорость ПАВ – табличное значение при температуре 20 °С;
- 2) температурный коэффициент – табличное значение;
- 3) температура – температура помещения на момент проведения эксперимента;
- 4) начало отсчета – определено из осциллограммы;
- 5) конец отсчета – определено из осциллограммы.

Таким образом, разработана новая конструкция пассивного датчика перемещения, позволяющего производить измерения перемещения по радиосигналу. Такой датчик может быть установлен в труднодоступных местах лишь однажды, а его опрос может производиться с помощью считывателя по радиосигналу. Датчик позволяет измерять расстояние от 0 до 14 мм с точностью $\pm 0,1$ мм, такой точности в ряде случаев достаточно для определения недопустимых деформаций строительных сооружений.

Библиографический список

1. *Патент РФ* на изобретение № 2344371. Датчик перемещения на поверхностных акустических волнах с температурной компенсацией / Багдасарян С. А., Бутенко Е. В., Назаренко М. А., Нефедова Н. А., Сарьян А. В. – Оpubл. 20.01.2009 г., БИ № 2.
2. *Патент РФ* на изобретение № 2195069. Однонаправленный преобразователь поверхностных акустических волн / Карапетьян Г. Я., Багдасарян С. А. – Оpubл. 20.12.2002 г., БИ № 35. 2002 г.