

## **АКУСТИЧЕСКИЕ ВОЛНОВОДНЫЕ СИГНАЛИЗАТОРЫ УРОВНЯ ЖИДКОСТИ СЖУ-1, СЖУ-2, УСУ-1, Звук-М.**

**В.И. Мельников**

Приведены принцип действия, структурная схема, конструкция волноводных сигнализаторов уровня жидкости. Отмечены преимущества сигнализаторов данного типа – универсальность, широкий диапазон условий применения, диагностика неисправности. Приведены основные технические характеристики, область применения перспективы развития.

Определение предельного положения уровня жидкости в резервуарах, предусмотренного технологическим регламентом, обязательная часть для всех систем управления процессами будь то резервуарные парки, пищевые предприятия, химические или фармацевтические производства, объекты энергетики, системы по очистке воды и другие отрасли промышленности.

Изменение уровня жидкости в резервуарах ограничено пределами, определяющими максимальный и минимальный уровни. Контроль этих уровней осуществляют при помощи сигнализаторов жидкости, сигналы которых используются как входные переменные в системах управления и безопасности, например, для защиты от перелива или осушения. Сигнализаторы уровня используются в системах защиты насосов, холодильного оборудования, теплообменников, нефтехимического оборудования и т.д.

На практике находят применение сигнализаторы, основанные на использовании различных физических принципов: гидростатические, электрические, тепловые, оптические, радиоволновые, вибрационные, ультразвуковые, направленные на решение различных частных задач.

Вместе с тем, несмотря на многообразие существующих приборов, актуальной является задача разработки сравнительно дешевого универсального сигнализатора, который может успешно использоваться в большинстве областей применения.

К наиболее перспективным относятся сигнализаторы, основанные на использовании акустических колебаний различной частоты, в частности, ультразвуковые и, в особенности, волноводные. Это связано с тем, что на распространение акустических колебаний не оказывает существенного влия-

ния такие физические свойства жидкости как электропроводность, прозрачность, температура, давление, загрязненность. В них отсутствуют подвижные элементы, изоляторы, электроды. В волноводных сигнализаторах акустический преобразователь можно вынести из зоны экстремальных воздействий, а конструкцию датчика выполнить цельносварной. Все это обеспечивает длительный ресурс прибора в самых неблагоприятных условиях применения [1].

В данной работе рассматривается конструкция волноводного ультразвукового сигнализатора жидкости для промышленного применения. В приборе используется микропроцессорный блок управления, позволивший обеспечить его стабильные характеристики в широком диапазоне температур и простую адаптацию к изменению геометрических характеристик волновода и чувствительного элемента.

Работа сигнализатора основана на акустоимпедансном методе, заключающемся в определении затухания акустических импульсов, распространяющихся по волноводному чувствительному элементу, погруженному в контролируемую среду. Для подвода импульсов используется волновод связи, находящийся в защитной трубке, а генерация импульсов осуществляется пьезопреобразователем на основе керамики ЦТС-19, вынесенным в зону с относительно благоприятными окружающими условиями.

Использование такого технического решения обеспечивает устойчивую и надежную работу сигнализатора в широком диапазоне экстремальных воздействий окружающей среды, а также возможность самодиагностики его исправности.

Рассмотрим физические основы ультразвукового волноводного сигнализатора уровня жидкости. Ослабление амплитуды акустических импульсов в волноводе, погруженном в среду, определяется уравнением:

$$A = A_0 \exp(-\gamma l) \quad (1)$$

где  $\gamma$  – постоянная затухания;

$l$  – длина волновода, находящейся в среде.

Ослабление вызвано колебаниями поверхности волновода, приводящими к излучению и уносу части акустической энергии в окружающую среду. Величина постоянной затухания -  $\gamma$  зависит от геометрических размеров волновода, его механических свойств, частоты ультразвука, вида используемых волн и физических свойств среды. На практике используют нормальные продольные или изгибные волны нулевого порядка.

Постоянная затухания нормальных продольных волн в цилиндрическом волноводе, погруженном в жидкость, описывается соотношением [2]:

$$\gamma = \frac{a\omega^2\nu^2}{Ec_{cm}} \rho_{ж} c_{ж} \quad (2)$$

где  $a$  – радиус волновода;

$\omega = 2\pi f$  – циклическая частота акустической волны;

$\nu$  – коэффициент Пуассона материала волновода;

$E$  – модуль Юнга материала волновода;

$c_{cm}$  – стержневая скорость звука в волноводе;

$\rho_{ж} c_{ж}$  – волновое сопротивление жидкости;

$\rho_{ж}$  – плотность жидкости;

$c_{ж}$  – скорость звука в жидкости.

Постоянная затухания нормальных изгибных волн в области высоких частот:

$$\gamma = \frac{1}{2\rho a \sqrt{2\omega a c_{cm}}} \rho_{ж} c_{ж} \quad (3)$$

где  $\rho$  – плотность материала волновода.

При этом обязательным условием работоспособности сигнализатора, основанного на принципе индикации затухания ультразвука в чувствительном элементе, является выбор диаметра волновода и частоты ультразвука такими, чтобы скорость звука в волноводе превышала скорость звука в контролируемой жидкости. Для стального волновода и изгибных волн это приблизительно соответствует условию:

$$\frac{af}{c_{cm}} \geq 0,1 \quad (4)$$

Численные значения постоянных затухания продольных и изгибных волн в сходных условиях значительно различаются и для изгибных волн примерно на два порядка больше. Поэтому волноводные чувствительные элементы изгибных волн имеют значительно меньшую длину по сравнению с чувствительными элементами продольных волн и конструктивно они более подходят для использования в сигнализаторах уровня жидкости.

Впервые волноводы изгибных волн были использованы в разработанных нами и серийно выпускавшихся в середине 90-х годов сигнализаторах жидкости «Звук-М», состоящих из двух датчиков и вторичного блока. Конструктивно датчик сигнализатора состоит из волноводной линии связи, помещенной в защитную трубку, кольцевого чувствительного элемента, пьезопреобразователя, корпуса и согласующего трансформатора [3] (рис.1).

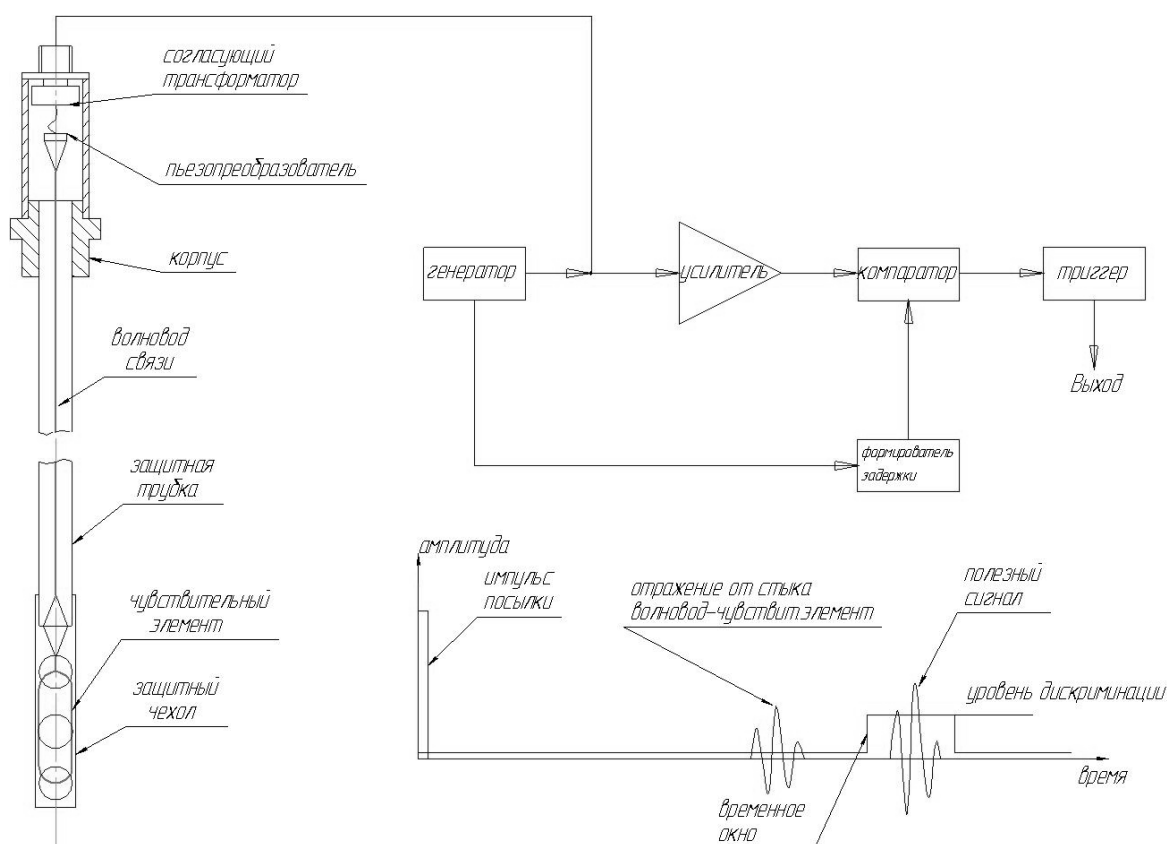


Рис.1. Структурная схема ультразвукового волноводного сигнализатора уровня жидкости.

Работает датчик следующим образом. При подаче на обкладки пьезопреобразователя электрического импульса возбуждается акустический сигнал, который по волноводной линии связи в виде продольной волны достигает чувствительного элемента. Вследствие использования Г - образного соединения волновода продольных волн с кольцевым чувствительным элементом в нем возбуждаются две изгибные волны, которые пробегают по кольцу навстречу друг другу и возвращаются в исходную точку, где суммируясь преобразуются вновь в продольную волну, которая по волноводу возвращается к преобразователю и генерирует в нем электрический сигнал. Часть энергии акустического сигнала отражается от стыка волновода связи и чувствительного элемента и приходит к преобразователю раньше сигнала от чувствительного элемента. Для механической защиты чувствительного элемента предусмотрен защитный чехол в виде трубки с перфорацией.

Электронная схема, размещенная во вторичном блоке, селективирует принятые сигналы по времени при помощи формирователя задержанных строб-импульсов, выделяя сигнал, соответствующий прошедшему по чувствительному элементу акустическому импульсу, и оценивает его амплитуду при помощи компаратора. При погружении чувствительного элемента в жидкость амплитуда принятого сигнала уменьшается ниже заданного уровня дискриминации и триггер вырабатывает сигнал – «жидкость». При осушении чувствительного элемента амплитуда сигнала увеличивается, состояние триггера меняется на противоположное и вырабатывается сигнал – «газ».

В датчике использовался волновод связи диаметром 0,8мм, длина варьировалась от 200мм до 1м и более, кольцевой чувствительный элемент диаметром 20мм из проволоки 0,8мм, защитная трубка с наружным диаметром 10мм, пьезопреобразователь на основе пьезокерамики ЦТС-19 диаметром 2,5мм. Рабочая частота преобразователя около 600кГц.

Существенным недостатком сигнализатора «Звук-М» являлась недостаточно прочная конструкция чувствительного элемента, ограничивающая область его применения маловязкими жидкостями. Поэтому нами была раз-

работана новая конструкция сигнализатора жидкости, получившая название «УСУ-1», в которой чувствительный элемент был сформирован на поверхности защитной трубки [4].

Конструкция датчика сигнализатора с встроенным чувствительным элементом приведена на рис.2. В нем внутри защитной трубки проточены две канавки, между которыми и формируется кольцевой чувствительный элемент. Волновод связи продольных волн приварен к чувствительному элементу встык и дистанционируется подвеской из резины. Внутренний объем датчика герметизируется при помощи доньшка. Поэтому чувствительный элемент может контактировать с контролируемой средой только с внешней стороны.

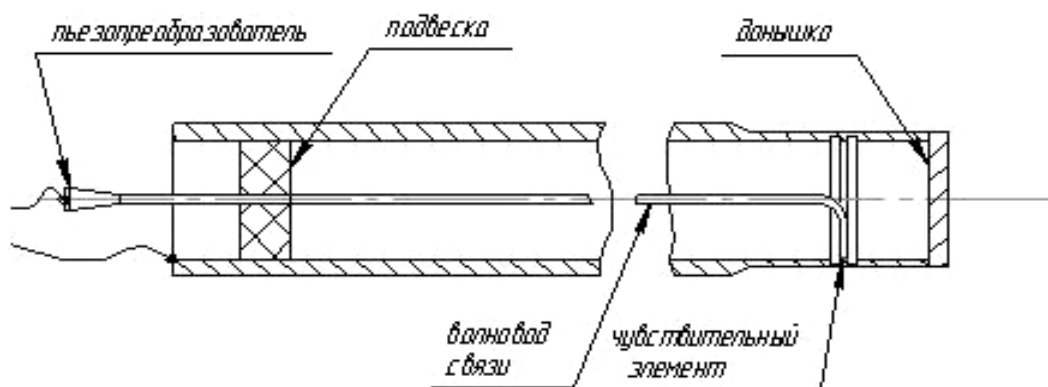


Рис.2. Конструкция датчика сигнализатора с встроенным чувствительным элементом

Предложенное техническое решение оказалось удачным ввиду значительно более прочной конструкции датчика. Вместе с тем, возможности этого сигнализатора также ограничены. Это связано с тем, что на практике для надежной работы сигнализатора необходимо обеспечить достаточно большое затухание ультразвука в чувствительном элементе (с запасом) при погружении в жидкость. Величина затухания зависит от длины чувствительного элемента и свойств контролируемой жидкости. Длина чувствительного элемента жестко привязана к диаметру защитной трубки и этим ее ограничивает, а свойства контролируемой жидкости могут меняться во времени, иногда в широких пределах, поскольку зависят от температуры, загрязнения, наличия

пузырьков газа и других факторов. Кроме того, фактически большой диаметр чувствительного элемента медленно осушается и в значительной мере подвержен осаждению осадка. Поэтому в ряде случаев сигнализатор работает ненадежно, что может привести к серьезным последствиям.

Следующим шагом в развитии технологии ультразвуковых волноводных сигнализаторов уровня жидкости является разработка сигнализаторов типа СЖУ-1 и СЖУ-2. Сигнализатор СЖУ-1 имеет конструкцию, в которой датчик совмещен с электронным блоком, а СЖУ-2 состоит из вторичного блока и двух выносных датчиков.

Отличие датчика этих сигнализаторов от предыдущих заключается в том, что в нем использован волновод связи изгибных волн и стержневой чувствительный элемент, а также, соответственно, пьезопреобразователь изгибных волн. Применение изгибных волн позволило использовать для изготовления волновода проволоку значительно большего диаметра 2-3мм, что было невозможно при использовании волновода продольных волн из-за сильной дисперсии акустических сигналов. Это значительно упростило технологию изготовления датчика и, главное, позволило сделать прочным и с запасом необходимой длины чувствительный элемент. Кроме того, чувствительный элемент малого диаметра легче осушается и мало подвержен задерживанию осадка на его поверхности.

Конструкция датчика сигнализатора СЖУ показана на рис.3.

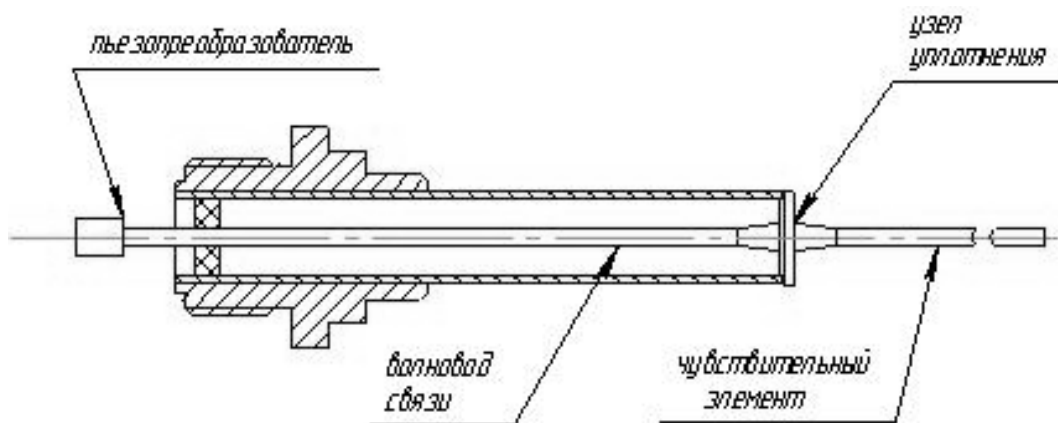


Рис.3. Конструкция датчика сигнализатора с волноводом связи изгибных волн

Датчик состоит из волноводной линии связи, включающей волновод связи, защитную трубку и дистанционирующие элементы, чувствительного элемента, оригинального узла уплотнения и пьезопреобразователя. Рабочая частота преобразователя – 900кГц. Длина чувствительного элемента варьируется в пределах 30 – 60мм, в зависимости от условий применения. При необходимости чувствительный элемент можно изогнуть, например, U – образно, что уменьшает его размер и увеличивает устойчивость в потоке жидкости. Волноводная линия связи, при необходимости, может быть увеличена до 4м простым увеличением длины защитной трубки и волновода связи.

Потеря акустической энергии в волноводе определяется уравнением (1), в котором длину  $l$  следует выбирать равной удвоенной длине волновода связи, а постоянная затухания  $\gamma$  для волновода из стали 12Х18Н10Т на частоте около 900кГц равна примерно 0,2 1/м..

Эта конструкция стала основой вновь разработанных и в настоящее время серийно выпускаемых сигнализаторов жидкости серии СЖУ. Благодаря использованию волноводной технологии в тепловом контакте с контролируемой средой находится весьма устойчивая сварная цельнометаллическая часть датчика, что обеспечивает надежную и долговременную работу сигнализатора в рекордном температурном диапазоне: от минус 200 до плюс 400<sup>0</sup>С при давлении до 20МПа.

Сигнализаторы СЖУ имеют искробезопасное исполнение и могут использоваться во взрывоопасных зонах. Предназначены для использования преимущественно в нефтехимической и химической промышленности, системах переработки и транспортировки сырья, для контроля работы насосов, теплообменного и холодильного оборудования и в других технологических системах.

Сигнализатор СЖУ-1 состоит из конструктивно совмещенных датчика и герметичного корпуса, в котором размещена электронная схема, выполненная на основе микропроцессора фирмы ATMEL (Рис.4). Использование перепрограммируемого микропроцессора позволяет в процессе сборки настраи-



вать схему сигнализатора с учетом длины волноводной линии связи и чувствительного элемента, выбирать необходимое время срабатывания, обеспечивая временной гистерезис, а также осуществлять функцию самодиагностики устройства. Применение двухцветного оптического индикатора, установленного на корпусе сигнализатора, позволяет на месте определять состояние контролируемой среды, подачу питания и контролировать работу сигнализатора. При использовании сигнализатора во взрывоопасной зоне используется барьер искрозащиты.

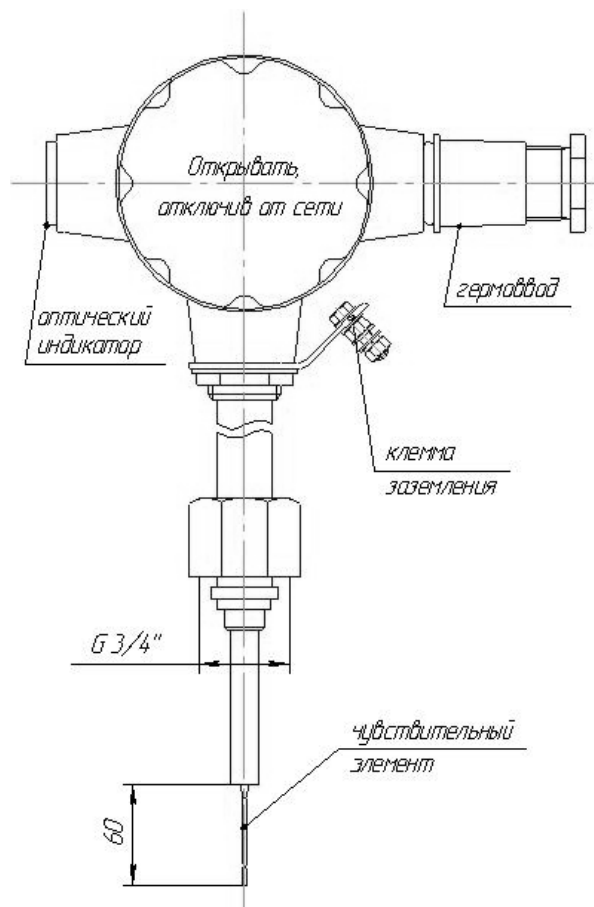


Рис.4. Сигнализатор жидкости ультразвуковой СЖУ-1

Сигнализатор СЖУ-2 включает электронный блок, располагаемый в обслуживаемом помещении, и два датчика полярного исполнения, приспособленные к работе в широком температурном диапазоне, присоединяемых с помощью двухпроводной линии связи (Рис.5). Содержит встроенные элемен-

ты искрозащиты и источник питания 220В, а также элементы оптической и звуковой сигнализации. Электронная схема исполнена аналогично схеме



Рис.5. Внешний вид сигнализатора СЖУ-2

СЖУ-1.

### Основные технические характеристики сигнализаторов СЖУ

Параметры контролируемой среды: - температура - давление - плотность	-190 — +400 <sup>0</sup> С стандарт - 6МПа (до 20МПа) не нормируется
Погрешность срабатывания: при вертикальном монтаже при горизонтальном монтаже	10мм 1мм
Гистерезис времени переключения	программируется, стандарт – 2с
Напряжение питания: СЖУ-1 СЖУ-2	10 - 24В DC 220В AC
Выход: СЖУ-1 СЖУ-2	токовый и «сухой контакт» «сухой контакт»
Условия эксплуатации и монтажа: СЖУ-1 СЖУ-2	-40 — +75 <sup>0</sup> С -60 — +85 <sup>0</sup> С
Маркировка взрывозащиты: СЖУ-1 СЖУ-2	1ExdibIICT6X 0ExiallCT5
Степень защиты корпуса	IP67
Габаритные размеры стандартного датчика: СЖУ-1 СЖУ-2	430*x170x75 320*x45x45
Масса: СЖУ-1 (стандартной длины) СЖУ-2 (электронный блок и 2 датчика)	1,1кг 1,5кг

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мельников В.И., Усынин Г.Б. Акустические методы диагностики двухфазных теплоносителей ЯЭУ. М.: Энергоатомиздат. 1987. 161с.
2. Мельников В.И., Дробков В.П., Контелев В.В. Акустические методы диагностики газожидкостных потоков. М.: Энергоатомиздат. 2006. 351с.
3. Мельников В.И. «Ультразвуковой сигнализатор уровня жидкости» Свидетельство на полезную модель №971. 1995г.
4. Мельников В.И. «Ультразвуковой сигнализатор уровня жидкости» Свидетельство на полезную модель №15132. 2002г.

Владимир Иванович Мельников – докт. техн. наук, профессор кафедры «Ядерные реакторы и энергетические установки», НГТУ (Нижний Новгород)

E-mail: [melnikov@nntu.nnov.ru](mailto:melnikov@nntu.nnov.ru), [melnikow@rol.ru](mailto:melnikow@rol.ru)

тел. (831) 436-80-29

факс. (831) 831-223-71-02

сайт: [www.ais-nn.ru](http://www.ais-nn.ru)