

Новый класс ультразвуковых устройств на основе акустических волноводов



В статье представлен новый класс ультразвуковых приборов на основе протяженных металлических волноводов производства компании ООО «Акустические измерительные системы – НН». В их числе сигнализаторы и уровнемеры жидкости, измеритель газосодержания потока двухфазной среды, сигнализатор раздела сред вода – нефтепродукт. Благодаря волноводной технологии приборы работают при критических температурах ($-200...+400$ °С) и давлении (до 35 МПа).

ООО «Акустические измерительные системы – НН»,
г. Нижний Новгород

Ультразвуковые приборы контроля технологических сред широко применяются в промышленности благодаря отсутствию подвижных частей, исключению влияния электрических свойств среды, возможности бесконтактных измерений и т. д. В современных устройствах излучатель-приемник ультразвука (обычно на основе пьезокерамики) контактирует с контролируемой средой. В процессе эксплуатации именно он подвергается экстремальным воздействиям, что существенно ограничивает область применения акустических приборов.

Компания «Акустические измерительные системы – НН» (АИС) предлагает новый класс ультразвуковых устройств на основе протяженных акустических волноводов, позволяющих значительно расширить возможности средств контроля различных продуктов.

Приборы на основе стальных волноводов – это экономичные устройства, надежно работающие при критических температурах, сверхвысоком давлении, радиации, в агрессивных средах (при температуре от -200 до $+400$ °С и давлении до 35 МПа). Столь высокие показатели достигаются благодаря тому, что в области измерений с экстремальными условиями контрольные сигналы передаются по стальному элементу (волноводу) в виде акустических импульсов, а конструкция чувствительного элемента датчика выполнена цельносварной и включает компоненты, выполненные только из стали. Длина волноводов может до-

стигать 10 м и более. При этом пьезопреобразователь расположен в удалении, в зоне с относительно благоприятными условиями, что обеспечивает его длительную и надежную работоспособность [1].

В связи с этим акустическая волноводная техника и технология для измерительных систем имеют хорошие перспективы развития.

К настоящему времени компанией АИС разработаны и серийно выпускаются следующие приборы на основе ультразвуковой волноводной технологии:

- ▶ одноточечные, двухточечные и многоточечные сигнализаторы уровня с чувствительными элементами различных конструкций;
- ▶ ультразвуковые рефлекс-радарный и акустоимпедансный уровнемеры;
- ▶ измеритель объемного газосодержания (паросодержания) двухфазного потока;
- ▶ сигнализаторы раздела сред типа вода – нефтепродукт.

Благодаря унификации, отсутствию в конструкции приборов дорогостоящих компонентов и отработанной технологии сборки стоимость изделий невысока. В электронной части применены микропроцессоры и современная элементная база, что позволяет оперативно перенастраивать функции приборов в соответствии с пожеланиями заказчика.

Типовой прибор состоит из прочного корпуса, изготовленного из алюминиевого сплава или нержавеющей стали (в котором находится плата с электронными ком-

понентами), волноводной линии связи в стальной защитной трубе длиной от 0,1 до 10 м и волноводного чувствительного элемента. Все приборы, созданные специалистами АИС, выпускаются во взрывозащищенном исполнении.

Рассмотрим подробнее конструкцию и технические возможности некоторых разработок.

Сигнализаторы уровня

Одноточечные сигнализаторы уровня изготавливаются с чувствительными элементами трех типов: акустоимпедансными стержневым и кольцевым, а также вилочковым (рис. 1). Принцип действия акустоимпедансных сенсоров основан на регистрации поглощения ультразвуковой изгибной волны в протяженном волноводе при погружении его в контролируемую жидкость. Вилочкового – на определении прохождения импульсов ультразвука через жидкость при просвете



Стержневой Кольцевой Вилочковый

Рис. 1. Чувствительные элементы одноточечных сигнализаторов СЖУ-1, УСУ-1 и СЖУ-1-В



Рис. 2. Сигнализатор уровня СЖУ-1

чивании контролируемого объема. Излучатель и приемник в нем содержат волноводы изгибных волн. В линиях связи сигнализаторов используются волноводы продольных и изгибных волн. Такие приборы находят применение в системах защиты насосов, контроля переполнения и т. п.

Двухточечные сигнализаторы (рис. 2) имеют по два чувствительных элемента, расположенных на разной высоте, и позволяют контролировать в том числе заполнение и осушение емкостей.

Сигнализаторы могут работать в самых разных условиях: от криогенных сред до теплоносителя ядерных установок. Обеспечивают выдачу сигнала в стандартах: «токовая петля» 4–20 мА, «сухой контакт», NAMUR.

Из многоточечных сигнализаторов, разработанных компанией АИС, выделим сигнализатор типа СУ (рис. 3) для измерения уровня кипящего теплоносителя в ядерном реакторе, изготовленный совместно с «ОКБМ Африкантов». СУ позволяет контролировать состояние теплоносителя в 24 точках по высоте реактора с шагом 100 мм. Общая длина датчика СУ – более 5 м. В нем использовано 48 волноводов продольных волн длиной от 2,5 до 5 м.

Два прибора были установлены в первом контуре над активной

зоной опытного реактора в НИТИ г. Сосновый Бор, где успешно работали в течение 3 лет при температуре до 340 °С и давлении до 18 МПа в поле радиации энергетического реактора.

Приборы контроля уровня – уровнемеры

Специалистами компании АИС впервые разработаны уровнемеры на основе ультразвуковых волноводов: рефлекс-радарный и акустоимпедансный. В первом измеряемой величиной является временной интервал, во втором – амплитуда им-



Рис. 3. 24-точечный сигнализатор уровня теплоносителя ядерного реактора

пульсов. Важнейшие области применения таких уровнемеров – тепловая и атомная энергетика.

Принцип действия рефлекс-радарных уровнемеров заключается в лоцировании границы раздела сред жидкость – газ [2]. Передача энергии осуществляется в импульсном режиме по излучающему волноводу, прием – по приемному волноводу. Измеряемой величиной является время пробега импульсов от посылки до границы жидкость – газ и обратно. Тот же принцип измерений осуществляется в СВЧ-рефлекс-радарных уровнемерах, где используются импульсы СВЧ-энергии, распространяющиеся по СВЧ-волноводу. Однако стоимость таких приборов достаточно высока.

Достоинством рефлекс-радарных уровнемеров является независимость результата измерений от физических свойств жидкости.

Освоено производство уровнемеров с волноводами длиной до 2,2 м с совмещенным и раздельным электронным блоком.

Принцип действия акустоимпедансных уровнемеров заключается в измерении затухания акустических импульсов, распространяющихся по протяженному волноводу при погружении его в жидкость [3]. В качестве чувствительного элемента используется волновод продольных волн, закрепленный внутри защитной трубки. Встроенный микропроцессор обеспечивает выдачу токового сигнала в масштабе 4–20 мА, пропорционального уровню контролируемой среды. Изготавливаются уровнемеры с чувствительным элементом длиной до 1,2 м.

Отличительной особенностью прибора является исключительная простота и способность работать практически в любых средах, инертных по отношению к нержавеющей стали.

В уровнемерах предусмотрена выработка выходного сигнала стандарта RS-485.

Акустозондовый измеритель истинного объемного газосодержания (паросодержания) потока

Измерение содержания свободного газа в газожидкостных потоках является актуальной задачей, в частности, в тепловой и ядерной энерге-

тике, в химических аппаратах, в оборудовании, применяемом при нефте- и газодобыче. Однако измерение газосодержания – сложная техническая проблема, и до недавнего времени отработанных и готовых к широкому применению приборов на рынке практически не было.

Специалистами АИС была поставлена задача: разработать прибор для измерения истинного объемного газосодержания на основе акустозондирования для применения в промышленных условиях. Прибор должен был обладать следующими особенностями: способностью работать в широком диапазоне температур контролируемой среды и окружающего воздуха, измерять газосодержание в диапазоне 0–100% и иметь стандартный выходной сигнал 4–20 мА.

В основу прибора был положен принцип акустического зондирования локального объема потока среды, протекающей по трубопроводу, с помощью акустического зонда.



Рис. 4. Внешний вид прибора контроля концентрации газа СЖУ-1-0Г в газожидкостном потоке

Зонд состоит из пары волноводных акустических датчиков, один из которых является излучателем, а второй – приемником ультразвуковых импульсов (рис. 4). Прохождение газового образования между излучателем и приемником ведет к скачкообразному уменьшению амплитуды принятых импульсов практически до нуля, что фиксируется вторичной схемой. Измеряется отношение числа импульсов, не прошедших через контролируемый объем, к числу излученных импульсов. Полученная величина преобразуется в токовый выходной сигнал.

Впервые разработанный ультразвуковой зондовый прибор контроля газосодержания (паросодержания) потока приспособлен для применения в различных областях техники, в частности для контроля паросодержания в парогенераторах и испарителях, газосодержания буровых растворов, в барботажных установках химических производств и в других областях техники. Важной особенностью прибора является то, что благодаря применению волноводов его излучатель и приемник ультразвука вынесены из зоны воздействия потока среды, и поэтому он может устойчиво работать в средах с криогенной или крайне высокой температурой (–200...+400 °С). Давление среды может достигать 20 МПа.

Сигнализатор раздела сред вода – нефтепродукт

Предназначен для контроля границы раздела воды и нефтепродуктов, а также других несмешивающихся жидких продуктов в резервуарах; для установления вида жидкости в потоке в трубах; для определения концентрации растворенного вещества в жидкости, например соли в воде (рис. 5). Кроме того, прибор выполняет следующие задачи:

- ▶ определяет качество (стабильность) технологического продукта в процессе его производства и хранения (например, качество углеводородов, спиртов, различных реагентов, растворителей);

- ▶ обеспечивает сигнализацию уровня раздела между различными несмешивающимися жидкостями, например между нефтью и подтоварной водой. Или сигнализирует



Рис. 5. Сигнализатор раздела сред СЖУ-1-РС

о появлении воды в нижней части емкостей хранения нефтепродуктов.

Принцип действия основан на определении волнового сопротивления жидкости, смачивающей кольцевой чувствительный элемент (по степени демпфирования ультразвука в чувствительном элементе окружающей жидкостью).

Серийное производство приборов осуществляется компанией «Акустические измерительные системы – НН», г. Нижний Новгород.

Литература

1. Мельников В.И., Дробков В.П., Контелев В.В. Акустические методы диагностики газожидкостных потоков. М.: Энергоатомиздат, 2006.
2. Мельников В.И., Тепляшин И.А., Иванов В.В. Исследование ультразвукового рефлекс-радарного волноводного уровнемера теплоносителя ядерной энергетической установки // Известия вузов. Ядерная энергетика. 2015. № 4.
3. Мельников В.И., Иванов В.В., Тепляшин И.А. Исследование волноводного акустоимпедансного уровнемера в водяном теплоносителе высоких параметров // Датчики и системы. 2015. № 11.

В.И. Мельников, д. т. н.,
технический консультант,
ООО «Акустические измерительные
системы – НН», г. Нижний Новгород,
тел.: +7 (831) 224-2898,
e-mail: sgu-1@yandex.ru,
www.ais-nn.ru