

УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ СИГНАЛИЗАТОРЫ УРОВНЯ ГОРЮЧИХ И ТОКСИЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ В ЗАКРЫТЫХ ЕМКОСТЯХ

А. Г. Кириллов, А. М. Рейман

Изложены принципы построения и подробности технической реализации линейки простых, надежных и недорогих приборов для сигнализации о превышении уровня (переливе) или понижении уровня (недоливе) жидкости в закрытых металлических емкостях, содержащих агрессивные, токсичные, горючие среды.

Ключевые слова: ультразвук, измерители уровня, агрессивные жидкости, одорант природного газа, сигнализаторы.

ВВЕДЕНИЕ

Задача оснащения газораспределительных станций (ГРС) надежными и недорогими сигнализаторами является весьма актуальной. Такие приборы должны обеспечивать возможность надежного контроля в толстостенных металлических емкостях, содержащих горючие, токсичные, химически агрессивные жидкости (одорант природного газа, конденсат, органические и неорганические кислоты и щелочи, различные виды жидкого топлива).

Опыт многолетней эксплуатации ультразвуковых измерителей уровня «АУЗУР» [1] на ГРС ряда регионов РФ показал, что приборы этого типа обладают рядом недостатков, связанных с принципиальными особенностями функционирования объектов, на которых применялись данные приборы.

Прежде всего, использование таких уровнемеров требует установки ультразвуковых зондов в нижней части емкости. На ГРС эксплуатируется множество емкостей разных конструкций для хранения одоранта, большая часть которых является подземными (ПЕО). Для установки зонда на такую емкость необходимо проведение большого объема земляных работ при высокой точности горизонтирования самой емкости и измерительного

зонда. Неточная установка зонда приводит к существенному повышению погрешности измерений, и вычисленные показания прибора начинают значительно расходиться с данными журналов учета. Измерение же объемов на расходных емкостях (РЕО), которые обычно устанавливаются над землей, затруднено из-за суточных колебаний температуры [2], что также приводит к существенным погрешностям учета товарных запасов.

Наиболее критической операцией с точки зрения обеспечения безопасности на ГРС является заливка одоранта в ПЕО и РЕО. Даже небольшой перелив одоранта через заливочную горловину может вызвать экологическую катастрофу вследствие чрезвычайно высокой его токсичности. Важна также своевременная сигнализация о падении уровня одоранта в РЕО ниже минимального и необходимости заполнения РЕО. При несвоевременной заливке потребителям в магистраль может направляться неодорированный газ, что крайне опасно. В то же время практически единственным методом, применяемым сейчас на ГРС для РЕО, служит визуальный контроль уровня жидкости с помощью водомерного стекла [3].

Как отмечалось в [1], ультразвуковые методы контроля уров-

ня жидкости практически являются безальтернативными для решения таких задач, так как позволяют проводить зондирование агрессивной среды в закрытой емкости без вмешательства в ее конструкцию. Все прочие методы контроля уровня и сигнализации требуют ввода измерительного устройства внутрь емкости — либо в жидкость, либо в ее пары [4—8].

СХЕМА ИЗМЕРЕНИЙ

Практически все контролируемые емкости являются либо вертикальными, либо горизонтальными цилиндрами. В сферических емкостях для контроля перелива можно пользоваться алгоритмом для горизонтального цилиндра. Во всех остальных случаях контроль перелива/недолива может осуществляться на подводных трубопроводах.

Условная схема метода контроля перелива для горизонтальной цилиндрической емкости представлена на рис. 1, а. Пьезоэлектрический преобразователь ПЭП размещается на боковой образующей емкости так, чтобы его положение по высоте соответствовало пограничному уровню жидкости H^* . Излученный ПЭП ультразвуковой импульс распространяется в среде в диаметральной направлении, отражается от противоположной стенки емкости и снова по-

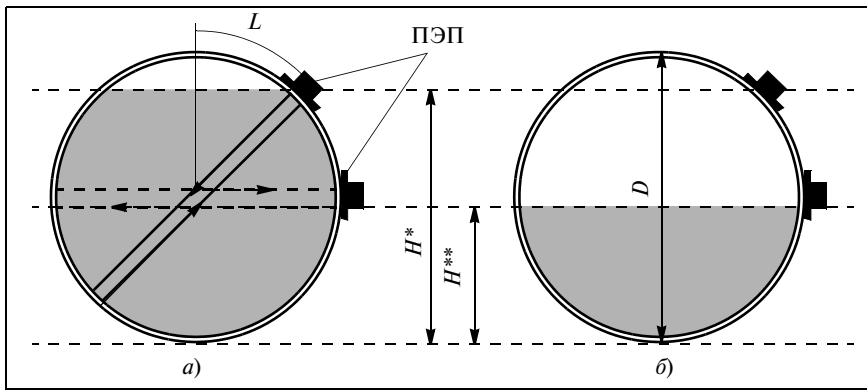


Рис. 1. Схема ультразвуковой сигнализации уровня жидкости в горизонтальной цилиндрической емкости:

a — перелив; *б* — недолив

падает на ПЭП. Поскольку различие акустических импедансов между материалом стенки и средой в емкости велико, то при наличии жидкости за стенкой в среду проникает 5...7 % излученной акустической энергии [1], а при ее отсутствии — на 2—3 порядка меньше. Таким образом, выявляя наличие или отсутствие отраженного от противоположной стенки эхосигнала, можно судить о том, пересекла ли граница жидкости уровень H^* .

Предлагаемая схема будет работать только при условии нахождения уровня H^* в верхней половине емкости, что несколько сужает область применимости сигнализатора. Однако такой способ вполне применим для контроля перелива, что перекрывает большую часть задач. Поскольку обычно горизонтальные емкости предназначены для долговременного хранения и имеют большой объем, можно реализовать и контроль недолива (перерасхода), устанавливая ПЭП на горизонтальном уровне H^{**} (рис. 1, б).

Схема метода контроля перелива/недолива для вертикальных емкостей показана на рис. 2. Здесь можно устанавливать ПЭП на боковой стенке емкости на

двух высотах, соответствующих уровням перелива H^* и недолива H^{**} . Принцип работы не отличается от описанного выше случая горизонтальной емкости. Наличие отраженного эхосигнала в обоих каналах контроля соответствует переливу жидкости, а отсутствие сигнала — недоливу; нормальным состоянием является наличие эхосигнала от нижнего датчика и отсутствие его от верхнего.

Основной проблемой при реализации сигнализатора является обеспечение его чувствительности и помехоустойчиво-

сти. Как уже отмечалось, акустическая волна, проходя дважды через границу “металл—жидкость”, значительно ослабляется. Дополнительный вклад в ослабление сигнала вносит затухание ультразвуковой волны в жидкости, особенно существенное для некоторых типов органических жидкостей (нефть, нефтепродукты). Условия эксплуатации приборов во взрывоопасной зоне существенно ограничивают амплитуду импульса возбуждения, подаваемого на ПЭП, поэтому необходимо максимально повышать усиление приемного тракта, бороться с шумами и помехами. Некоторый выигрыш можно получить, применяя более низкие частоты в сравнении с приборами, описанными в [1], а также удлинняя импульс возбуждения ПЭП. Это допустимо, поскольку в приборе — сигнализаторе уровня не требуется высокое продольное разрешение. Обнаружение же эхосигналов при этом упрощается.

Нами была выбрана рабочая частота 500 кГц и возбуждение осуществлялось радиоимпульсом, содержащим восемь пери-

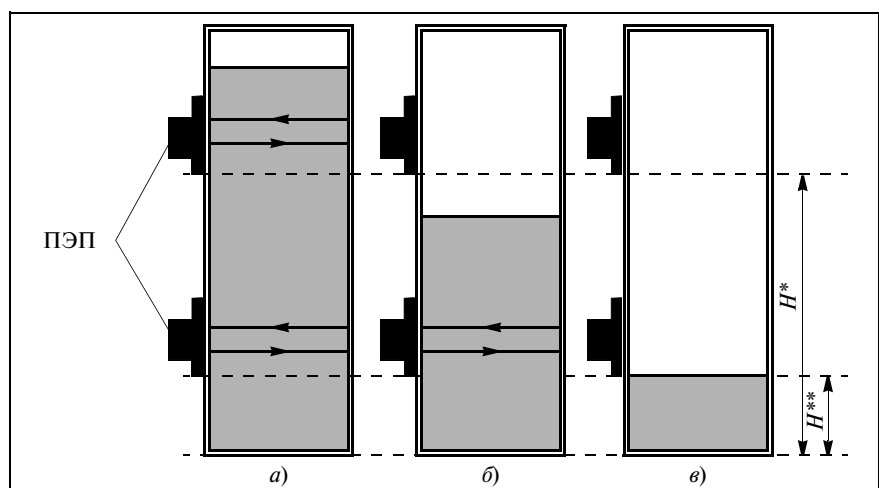


Рис. 2. Схема ультразвуковой сигнализации уровня жидкости в вертикальной цилиндрической емкости:

a — перелив; *б* — норма; *в* — недолив

одов рабочей частоты. Дополнительный выигрыш можно получить за счет электрического согласования ПЭП с усилителем.

При повышении чувствительности приемного тракта на емкостях, находящихся на поверхности и заполненных слабвязкими жидкостями, были обнаружены слабые отражения от противоположной стенки емкости при отсутствии жидкости под местом расположения ПЭП. Время задержки относительно зондирующего импульса соответствовало скорости распространения звука в жидкости, а не в газе. По-видимому, это связано с возбуждением колебаний большой области стенки емкости, окружающей область установки ПЭП, при этом часть стенки, соприкасающаяся с жидкостью, становится излучателем. Это приводит к невозможности установки единого порога срабатывания прибора для широкого диапазона размеров емкостей, что требует настройки прибора при его установке на емкость.

Дополнительные помехи возникают также вследствие множественных переотражений зондирующего импульса в стенке емкости. Это приводит к тому, что ближняя зона эхограммы оказывается заполненной реверберационными сигналами. Для устранения этих помех в усилителе вводится временная автоматическая регулировка усиления (ВАРУ), снижающая усиление в ближней зоне на время, выбираемое из соображений минимального диаметра емкости. Так, например, при установке на емкости второго типа минимальный диаметр цилиндрической трубы составляет 150 мм, и ближайший отраженный импульс находится не ближе 180...200 мкс от начала развертки. Поэтому достаточно по-

давить мешающие сигналы на первых 100 мкс.

ДВУХКАНАЛЬНЫЙ СИГНАЛИЗАТОР УРОВНЯ

Описанный принцип построения прибора был реализован в виде двухканального сигнализатора уровня, структурная схема которого представлена на рис. 3. Прибор состоит из блока управления оператора БУ, размещаемого в помещении вне взрывоопасной зоны, двухканального блока объекта БО, находящегося вблизи емкости, и одного или двух акустических зондов АЗ, устанавливаемых на емкость. Соединение БУ с БО производится армированным двухпроводным кабелем через взрывозащищенные клеммные коробки, устанавливаемые как в помещении, так и вблизи объекта. Кабель прокладывается в траншее с заглублением, исключающим случайное повреждение ручным инструментом. Требования к передаваемым сигналам по токам и частотам минимальны, поэтому может использоваться любой кабель, на-

пример, от систем телеметрии при наличии в нем двух свободных линий.

Блок объекта БО содержит управляющий микроконтроллер Microchip PIC16F676, два канала формирования зондирующих импульсов на транзисторах IRL610A, усилитель эхосигналов AD8330, на вход которого через коммутатор К подается сигнал с одного или другого акустического зонда, амплитудный детектор AD8361 и формирователь высокого напряжения (100 В) на двух интегральных DC-DC преобразователях AIMTEC AM1/4L-0524D. Формирование зондирующих радиопulses, управление коммутацией, отключение высоковольтного формирователя для повышения помехозащищенности, формирование импульсов ВАРУ и анализ эхосигналов производится микроконтроллером.

Для анализа эхосигналов используется встроенный компаратор микроконтроллера, имеющий несколько пороговых уровней. Для контроля качества

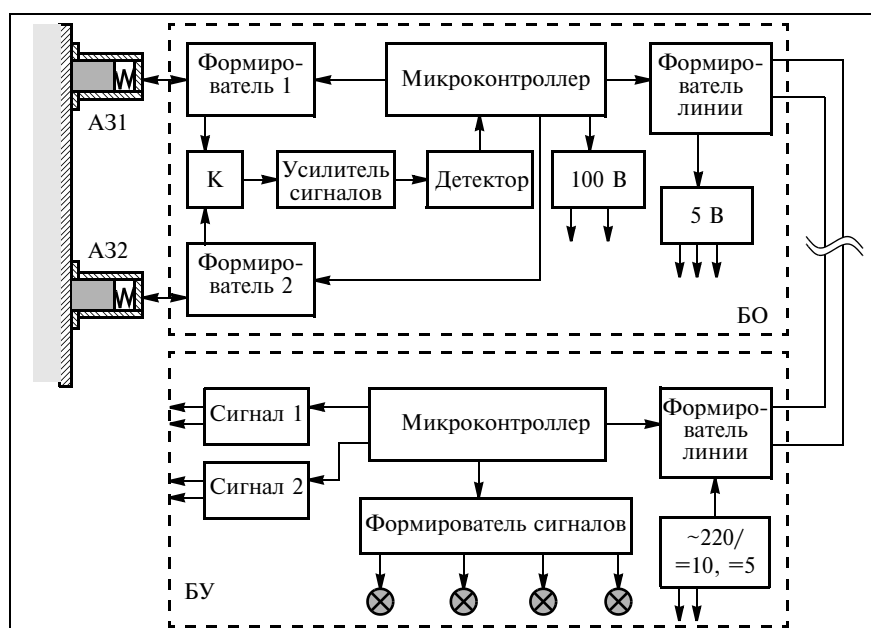


Рис. 3. Структурная схема двухканального сигнализатора уровня

прилегания зонда к поверхности проверяется также уровень ревербераций в ближней зоне. Зондирование емкостей производится один раз в секунду, после чего формируется короткая импульсная 4-битовая посылка, передаваемая в БУ. Для уменьшения числа проводов линия импульсного сигнала объединена с линией электропитания +10 В.

Каждый из акустических зондов представляет собой герметичную металлическую коробку, в которой размещен подпружиненный ПЭП. Взрывозащита класса IExIIм обеспечивается компаундированием токоведущих выводов ПЭП. Зонд крепится к емкости с помощью металлических ленточных стяжек или устанавливается на кольцевых магнитах, обеспечивающих усилие отрыва не менее 50 кг. Акустический контакт обеспечивается так же, как и в приборах типа АУЗУР [1]. Сигналы от АЗ к БУ передаются экранированным проводом, проложенным в гофрированном металлорукаве для защиты от механических повреждений.

Блок управления БУ выполняется в виде малогабаритного электронного модуля, который может монтироваться в различные корпуса как для настенного размещения, так и монтажа на DIN-рейку. Электропитание БУ осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 В. Практически все ГРС оборудованы системами бесперебойного питания, поэтому нет необходимости дублировать электропитание подключением аварийного источника. Переменное напряжение преобразуется в постоянное 10 В для питания БО с помощью AC-DC преобразователя Aimtec AMEL5-5D, из которого затем вырабатывается также напряжение 5 В для пита-

ния цепей БУ. Цепь электропитания БО защищена самовосстанавливающимися предохранителями. Как уже отмечалось, линия питания совмещена с линией передачи цифровых данных, поэтому на входе блока происходит их разделение.

Цифровой 4-битный код принимается микроконтроллером (также использован PIC16F676) и производится анализ и отображение результатов. Блок БУ снабжен двухцветными светодиодами индикаторами, отображающими работу прибора ("Питание"), наличие связи с БО ("Связь") и состояние срабатывания обоих каналов ("Канал 1", "Канал 2").

Поскольку из БО передается информация лишь о наличии эхосигнала в дальней зоне, а один БО может использоваться либо на одной емкости, либо на двух, БУ снабжен двухпозиционным переключателем, позволяющим использовать одни и те же эхосигналы для индикации недолива или перелива. При появлении нежелательного состояния любого из двух каналов формируется также управляющий сигнал для срабатывания аварийной сигнализации на многоканальных устройствах типа "Сигнал" или отдельного светового/звукового индикатора. Этот сигнал вызывает замыкание гальванически развязанных от основной схемы "сухих" контактов твердотельных реле CX380D и PVG612, которые могут быть подключены к соответствующим входам сигнальных устройств.

Передача информации на удаленный диспетчерский пункт может производиться также через телеметрический выход многоканальной аварийной сигнализации, поэтому оснащать прибор собственными узлами передачи информации нет необходимости.

РУЧНОЙ СИГНАЛИЗАТОР УРОВНЯ

В процессе опытной эксплуатации сигнализаторов выяснилось, что в ряде случаев возникает потребность в экспресс-контроле уровня жидкости в закрытой емкости. Так, бывает необходимо проконтролировать по отдельности каждую из параллельно объединенных в регистр РЕО после приваривания входных и выходных патрубков к магистрали одоранта для обнаружения возможного закупоривания патрубка в результате сварочных работ. Устанавливать акустические зонды типа описанных выше для решения такой временной задачи нежелательно.

Первоначально в качестве ручного уровнемера использовался универсальный локатор, разработанный авторами для медицинских приложений и размещенный в корпусе вместе с ПЭП (с рабочей частотой 2,5 МГц). Оцифрованная эхограмма передавалась по каналу USB в портативный компьютер для отображения на экране и обработки. Локатор прикладывался к стенке емкости, предварительно смазанной акустической контактной смазкой (гелем или минеральным маслом) и постепенно перемещался вниз по боковой поверхности емкости. При этом на экране компьютера наблюдался либо не наблюдался отраженный от противоположной стенки емкости эхосигнал.

Измеряя высоту расположения ПЭП в момент появления эхосигнала, можно также оперативно рассчитать объем жидкости в емкости. При измерениях на вертикальных емкостях высота H^* до дна емкости пересчитывается в объем, поскольку площадь сечения известна. При измерениях на горизонтальных цилиндрических емкостях мож-

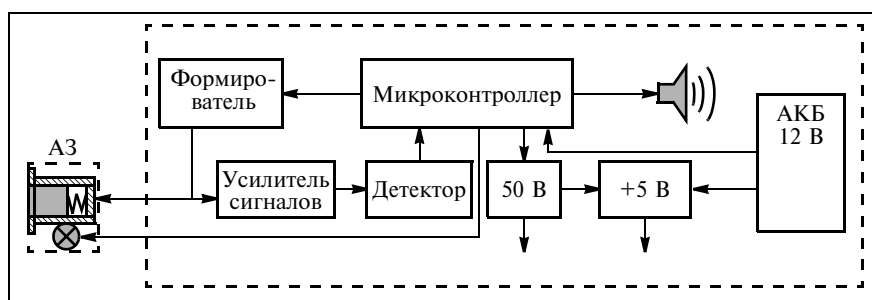


Рис. 4. Структурная схема ручного сигнализатора уровня

но определить объем жидкости в емкости без измерения высоты. Для этого необходимо измерить длину дуги L (см. рис. 1) от верхней точки емкости до точки, в которой появляется эхосигнал, и при известном диаметре емкости D пересчитать эту величину в высоту H^* , которую затем использовать для вычисления объема.

Испытания на ГРС подтвердили наличие потребности в ручных сигнализаторах уровня, однако выявили основные недостатки первоначальной конструкции. Основным недостатком была необходимость применения компьютера для отображения информации, что резко сужало область применения. Так, например, практически невозможной оказалась работа с таким сигнализатором в условиях низких температур или при значительной внешней освещенности. Учитывая, что алгоритм работы прибора достаточно прост, была разработана схема ручного сигнализатора уровня для эксплуатации в условиях производства (рис. 4).

Некоторые узлы ручного сигнализатора аналогичны описанным выше узлам двухканального сигнализатора. Управление и анализ сигналов осуществляются программно с помощью микроконтроллера PIC16F676, схема усилителя и детектора эхосигналов также аналогична применяемой в двухканальном

приборе. Основное отличие заключается в схеме передающего тракта (генератора импульсов). Здесь применена двухтактная схема на транзисторах IRL610A, нагруженных на повышающий трансформатор. Сигналы с вторичной обмотки трансформатора через гибкий кабель подаются на ПЭП, вынесенный в отдельный корпус.

Цикл работы локатора начинается с программного формирования двух импульсных посылок, сдвинутых по времени так, чтобы образовывать противофазные сигналы. Длительность посылки была выбрана равной 16 периодам, что позволяет получить достаточно мощный импульс на излучение. В момент начала формирования импульсной последовательности запускается также программно формируемый импульс блокировки ближней зоны приема, от которого формируется управляющий сигнал ВАРУ.

Принятые эхосигналы после усиления детектируются и подаются на вход компаратора микроконтроллера. Выход компаратора опрашивается программно, предусмотрена также проверка длительности выходного импульса компаратора для защиты от случайного срабатывания из-за кратковременной импульсной помехи. В случае появления устойчивого эхосигнала в нескольких циклах происходит включение световой и

звуковой сигнализации, в случае пропадания — отключение.

Прибор конструктивно размещается в едином корпусе с аккумуляторной батареей АКБ напряжением 12 В и может носиться на ремне в чехле. Поэтому размещение световой индикации на корпусе прибора нецелесообразно, остается только звуковая сигнализация с помощью управляемого пьезоизлучателя. Световая же индикация вынесена в корпус ПЭП и выполнена в виде двухцветного светодиодного индикатора. Все цепи прибора питаются от стабилизированного напряжения 5 В.

Напряжение с АКБ подается также на встроенный АЦП микроконтроллера для контроля разряда батареи; при падении напряжения ниже допустимого уровня прибор переключается в режим индикации разряда (периодические звуковые и световые сигналы). Клеммы АКБ выведены на разъем подключения ПЭП, поэтому для зарядки АКБ необходимо отсоединить ПЭП от прибора и подключить к зарядному устройству. Таким образом, обеспечивается невозможность работы с прибором в режиме зарядки, а также невозможность работы прибора от сети переменного тока. Это важно с точки зрения электро- и взрывобезопасности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный двухканальный сигнализатор уровня прошел предварительные технические испытания на одной из ГРС Ивановской области и показал хорошую надежность, помехозащищенность и простоту монтажа. В дальнейшем необходимы разработка комплекта документации и получение разрешительных документов для применения таких приборов на взрывоопасных объектах.

Ручной уровнемер был испытан на одной из топливных оптовых баз Владимирской области. Помимо определения уровня жидкостей в стационарных резервуарах были предложены два дополнительных возможных приложения ручного сигнализатора: определение остаточного заполнения топливных трубопроводов между разгрузочным терминалом и резервуарами хранения топлива, а также определение уровня заполнения цистерны топливом без вскрытия заливного люка путем определения границы заливки. Обе задачи актуальны для предотвращения хищений на предприятиях, а значит, приборы такого типа будут востребованы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Беляев Р. В., Грибов В. А., Кириллов А. Г.* и др. Ультразвуковые измерители уровня агрессивных и токсичных жидкостей в закрытых емкостях // Вестник ННГУ. — 2011. — № 1. — С. 53–59.
2. *Рейман А. М.* Определение акустических и теплофизических свойств одоранта природного газа // Вестник ННГУ. — 2011. — № 5 (1). — С. 76–81.
3. *Кулаков М. В.* Технологические измерения и приборы для химических производств. 3-е изд. — М.: Машиностроение, 1983. — 424 с.
4. *Агранат Б. А., Дубровин М. Н., Хавский Н. Н.* и др. Основы физики и техники ультразвука: учеб. пособие для вузов. — М.: Высшая школа, 1987. — 352 с.
5. *Бабиков О. И.* Контроль уровня с помощью ультразвука. — Л.: Энергия, 1971. — 80 с.
6. *Хансуваров К. И., Цейтлин В. Г.* Техника измерения давления, расхода,

количества и уровня жидкости, газа и пара. — М.: Изд-во стандартов, 1990. — 287 с.

7. *Справочник инженера по КИПиА* / Под ред. А. В. Калиниченко. — М.: Инфра-Инженерия, 2008. — 576 с.
8. *Справочник по средствам автоматизации* / Под ред. В. Э. Низе, И. В. Антика. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 504 с.

Работа выполнена в Институте прикладной физики РАН

Алексей Геннадьевич Кириллов — зав. сектором;

☎ (831) 416-49-76

E-mail: kir@ufp.appl.sci-nnov.ru

Александр Михайлович Рейман — канд. физ.-мат. наук, ст. научн. сотрудник.

☎ (831) 416-49-76

E-mail: rey@appl.sci-nnov.ru □

УДК 53.087;543. 27.-8;544;621.37;681.2

КОМПАКТНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОНТРОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ГАЗООБРАЗНОГО АММИАКА

Н. В. Масальский

Обсуждаются принцип действия, конструкция и методика выбора параметров устройства для контроля газообразного аммиака. Экспериментально исследованы характеристики сенсорного элемента на основе волноводной структуры, сформированной на Y-срезу ниобата лития.

Ключевые слова: абсорбционный оптический химический сенсор, оптический волновод, аммиак, ниобат лития.

ВВЕДЕНИЕ

Детектирование опасных и вредных газов в современном обществе представляется чрезвычайно важной проблемой. Аммиак NH_3 , как известно, вместе с диоксидом азота, окисью азота, окисью углерода и двуокисью серы входит в список наиболее опасных веществ. Кроме естественных у аммиака есть много и антропогенных источников. Решение этой проблемы имеет приоритетное значение практически во всех жизненно важных для человека отраслях, включая химическую, металлургическую, нефтегазовую, микро-

электронную промышленность, экологию, медицину и оборону [1–3]. Контроль атмосферных уровней аммиака особенно важен, поскольку он является огнеопасным и взрывчатым газом.

В последние годы активно разрабатываются различные типы оптических химических датчиков. Они характеризуются высокой чувствительностью и помехозащищенностью, функционированием в реальном режиме времени, возможностью дистанционного измерения, малыми массой и габаритами, совместимостью с интегральными технологиями [1–4].