



ВОДОРОДНЫЙ ТЕЧЕИСКАТЕЛЬ НА ОСНОВЕ ТЕРМОКАТАЛИТИЧЕСКИХ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ЗАМКНУТЫХ ГАЗОВЫХ ОБЪЕМОВ

С.Ю. Гогuish-Клушин, О.С. Гогuish-Клушина, А.В. Ельчанин, Д.Ю. Харитонов

НИЦ «Курчатовский Институт»
123182 Москва, пл. Курчатова, д. 1
Тел.: 8(499) 196-70-31, e-mail: alecs@nfi.kiae.ru

Заключение совета рецензентов: 29.11.12 Заключение совета экспертов: 05.12.12 Принято к публикации: 07.12.12

В предлагаемой статье представлен водородный течеискатель, изготовленный на базе специально разработанного термокаталитического химического сенсора пленочного типа. За счет применения специальных методик удалось добиться исключительно высокой селективности данного прибора при определении водорода в газовой среде. Кроме того, удалось существенно снизить зависимость показаний прибора от температуры и влажности измеряемой смеси.

Ключевые слова: химические датчики, физические датчики, термокаталитические датчики, водородные течеискатели, газоанализатор.

HYDROGEN LEAK DETECTOR BASED ON THERMOCATALYTIC SENSORS TO MONITOR LEAK CLOSED GAS VOLUMES

S.Yu. Goguish-Klushin, O.S. Goguish-Klushina, A.V. Elchanin, D.Yu. Kharitonov

National Research Centre "Kurchatov Institute" (NRC "Kurchatov Institute")
1 Kurchatov sq., Moscow, 123182, Russia
Tel.: (499) 196-70-31; e-mail: alecs@nfi.kiae.ru

Referred: 29.11.12 Expertise: 05.12.12 Accepted: 07.12.12

This article presents a hydrogen leak detector, worked out on the basis of specially developed film thermocatalytic chemical sensor. Exceptionally high selectivity of this device in the determination of hydrogen gas environment was achieved by using of special techniques. In addition, significantly reduced the dependence from temperature and humidity measured mixture.

Keywords: chemical sensors, physical sensors, thermocatalytic gas sensors, hydrogen leak detectors, gas analyzer.

Не требует дополнительных пояснений, что при использовании замкнутых объемов необходимо контролировать их герметичность. Одним из основных направлений технической диагностики таких объектов является проблема обнаружения и локализации мест течей для их последующей ликвидации. Чаще всего дефектные участки расположены в зоне стыковых соединений различных деталей этих объемов. Одним из наиболее эффективных, быстрых и точных

методов контроля герметичности замкнутых объемов является способ течеискания. Он используется в самых различных областях народного хозяйства: тепловой и атомной энергетике, нефтяной и газовой промышленности, автомобильной и химической промышленности, космических исследованиях и многих других. Отдельной задачей является обнаружение дефектов на магистральных трубопроводах большого сечения. Проблема усугубляется тем, что

монтаж и эксплуатация трубопроводов часто осуществляется в отдаленных районах с тяжелыми климатическими условиями.

Для большинства указанных ранее объектов остро стоит необходимость поддержания их герметичности в процессе эксплуатации. От этого часто зависит не только их работоспособность, но и жизнь, и здоровье людей. Поэтому очень важно как можно раньше обнаружить и устранить дефекты и повреждения, нарушающие герметичность, и тем самым предотвратить возможный ущерб. И в этом случае наиболее эффективным методом поиска мест с дефектами герметичности является течеискание.

Течеискание – известный метод неразрушающего контроля изделий, основанный на регистрации веществ, проникающих через дефекты в наружной стенке герметичного объема (течи). Течи образуются чаще всего в местах с пониженной плотностью основного материала стенки (пористый участок) или в виде сквозного канала. О наличии и величине течей судят по количественному содержанию газа или жидкости, проникающих через них. Поиск течей осуществляется с помощью устройств под общим названием «течеискатели».

В процессе испытаний на герметичность могут использоваться пробные, балластные и индикаторные вещества. Основные диагностирующие функции выполняет пробное вещество, проникновение которого через течь обнаруживается в процессе контроля. В качестве пробных веществ применяются газы с малым молекулярным весом, с низким содержанием в атмосфере, химически пассивные по отношению к материалам, используемым в исследуемом объеме.

В качестве пробного вещества мы предлагаем использовать газовую смесь следующего состава – 2%_{об} водорода в сухом синтетическом воздухе. Данная смесь является наиболее подходящей для определения течей различных типов, в первую очередь, за счет высокой проникающей способности водорода. Указанная газовая смесь хорошо подходит как для обнаружения микротечей, так и при поиске струйных течей. Газовая смесь с такими характеристиками является негорючей, т.к. 2%_{об} водорода в воздухе составляет только 50% НКПР (нижний концентрационный предел распространения пламени).

Необходимо отметить, что сама идея поиска течи с использованием водорода не является новой или революционной. В мире есть много фирм, которые выпускают водородные течеискатели. Однако большинство приборов, представленных на российском и мировом рынках, имеет серьезные недостатки:

- либо это сложные, большие приборы, которые могут работать исключительно в стационарных условиях и требуют для их обслуживания высококвалифицированного персонала [1]. Использование их на производстве, а тем более в полевых условиях, практически исключено;

- либо простые, дешевые аппараты, оснащенные измерительными элементами общего назначения [2].

Основным недостатком этих приборов является низкая селективность. Кроме водорода эти устройства активно реагируют на присутствие в воздушной среде паров спиртов, растворителей и т.д. Нередко достаточно появления в зоне работы прибора свежеекранированной поверхности, чтобы работа с течеискателем была полностью блокирована.

В дополнение к вышесказанному следует иметь в виду, что показания всех перечисленных устройств сильно зависят от температуры и влажности детектируемых смесей.

С учетом сказанного выше мы решали задачу разработки недорогого прибора, надежного и простого в эксплуатации. Разрабатываемое устройство не должно было при этом реагировать на посторонние примеси, такие как пары спиртов, растворителей и горючих газов (метан, пропан, бутан). Таким образом, необходимо было создать течеискатель с высокой селективностью при определении концентраций водорода.

Селективность является одной из основных характеристик измерительного элемента. При подборе чувствительного элемента для течеискателя выяснилось, что выпускаемые сегодня в промышленных масштабах термokatалитические датчики обладают целым рядом неустраняемых недостатков, которые значительно ограничивают область их использования. Наиболее значимыми недостатками таких датчиков являются:

- высокое энергопотребление, связанное с несовершенством используемых конструкций микронагревателей;
- зависимость величины отклика от температуры окружающей среды;
- высокая зависимость результатов измерений от влажности детектируемой среды;
- низкая селективность к водороду во всем диапазоне измерений.

Поэтому нам пришлось самостоятельно разработать и изготовить специализированный дифференциальный термokatалитический датчик, специально предназначенный для использования в водородных течеискателях. По нашим данным, это первая разработка такого рода.

Как уже указывалось ранее, датчик в данном устройстве является основным элементом прибора, который определяет его конечные характеристики. Мы остановили наш выбор на химическом датчике термokatалитического типа как наиболее надежном и простом в эксплуатации.

При разработке термokatалитического чувствительного элемента мы использовали опыт по изготовлению полупроводниковых пленочных измерительных элементов, созданных с применением ТАФ-технологии [3]. Особенностью представляемого здесь термokatалитического элемента является то, что он представляет собой дифференциальный датчик, состоящий из двух одинаковых платиновых нагревательных элементов, они же термометры сопротивления, расположенных на одной платформе. Как

и в случае полупроводникового элемента [4], здесь особое внимание пришлось обратить на топологию построения нагревателей, токоподводов и контактных площадок. Выяснилось, что уровень взаимного влияния нагревательных элементов позволяет существенно варьировать измерительные параметры сенсора. Именно подбор оптимальной геометрии расположения микронагревателей в сочетании с оптимальным для данной геометрии температурным режимом, а также составом каталитического слоя обеспечили необходимые технические характеристики чувствительного элемента, пригодного для использования в водородном течеискателе.

К сожалению, использование различных математических моделей по моделированию конструкции и параметров чувствительного элемента не дали ощутимого результата, что связано с множеством факторов, которые невозможно учесть. Поэтому при создании чувствительного элемента нам пришлось практически целиком опираться на результаты экспериментов, и только использование методов многофакторного планирования несколько сократило сроки проведенных работ.

Микрофотография распаянного измерительного элемента, полученного в результате проделанной работы, представлена на рис. 1.

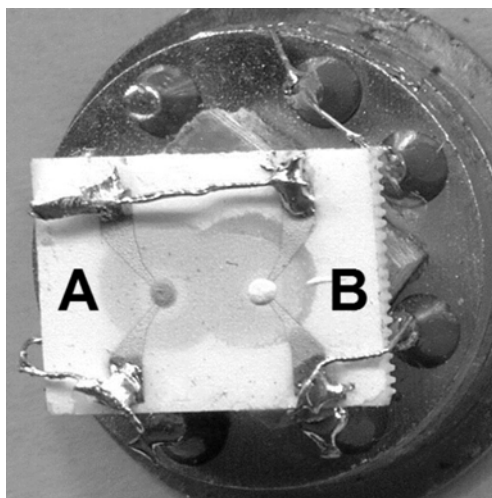


Рис. 1. Чувствительный элемент термокаталитического типа на площадке 6×8 мм в корпусе ТО-8 (со снятой крышкой)
Fig. 1. Thermocatalytic TAF-sensor on area 6×8 mm TO-8 (cover removed)

На рис. 1 представлен сенсор термокаталитического типа, он смонтирован в стандартный корпус ТО-8 и содержит два одинаковых платиновых микронагревателя пленочного типа, расположенных на тонкой поликристаллической керамической мембране из оксида алюминия. Мембрана, толщина которой составляет 10-50 мкм, жестко закреплена на массивном керамическом основании из оксида алюминия, в котором заранее сделаны технологические отверстия [5]. На один из нагревателей нанесен каталитический

слой, приготовленный с использованием микропористой основы из $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ (А). На другой нагреватель нанесен аналогичный микропористый слой из $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, не содержащий каталитической составляющей (В). Это сделано для того, чтобы обеспечить практически одинаковую тепловую инерцию обоих микронагревателей.

Как и в случае с полупроводниковыми датчиками [5], платиновый нагреватель является одновременно и термометром сопротивления, который работает в режиме саморазогрева. Разработанная нами электронная схема позволяет поддерживать сопротивление нагревателя, расположенного под каталитическим слоем (что означает поддержание его абсолютной температуры) с очень высокой точностью. Этим удалось добиться снижения собственного дрейфа показаний измерительного элемента до значений менее 2% в год.

Все указанные выше мероприятия позволили добиться исключительно высокой селективности данного сенсора. Показания датчика в насыщенных парах спирта, ацетона, толуола или бензина при 24 °С не превышали 0,001 от показаний прибора при изменении водорода с концентрацией 0,5%_{об}.

Кроме того, удалось значительно снизить зависимость показаний сенсора от влажности измеряемой газовой смеси.

Реальный течеискатель состоит из двух основных частей: блока подачи пробной смеси и измерительного прибора.

В состав блока подачи пробной смеси входит баллон, содержащий поверочную газовую смесь (ПГС) определенного состава, а также весь комплект арматуры для заполнения тестируемого объема. В ряде случаев требуется система откачки, набор элементов (заглушек) для локализации исследуемой области, например, области сварного шва в трубопроводе.

Вопросы, связанные с этим блоком, в данной статье обсуждаться не будут.

Измерительный прибор, по нашим представлениям, должен состоять из следующих основных частей:

- выносного блока-щупа, содержащего измерительный элемент и драйвер;
- базового блока, содержащего измерительный блок; блок индикации; блок питания.

Выносной блок-щуп, имеющий относительно небольшие размеры и вес, должен соединяться с остальной частью прибора гибким кабелем. Длина кабеля может быть в пределах 1-1,5 метра. При такой длине кабеля он, с одной стороны, не будет путаться, а с другой, ее будет достаточно для работы оператора при поиске течи в труднодоступных местах.

По нашим представлениям, корпус выносного щупа может представлять собой прямоугольный кожух сечением около 40×40 мм и длиной порядка 200 мм. В торцевой части должен располагаться измерительный элемент, помещенный в корпус ТО-8 и защищенный от механического воздействия прочной стальной решеткой, а от пыли – мелкоячеистой сеткой.

Для измерения и управления всеми важными параметрами измерительных элементов газовых датчиков нами были разработаны и изготовлены специализированные устройства (драйверы). Они позволяют получать всю необходимую информацию о состоянии и параметрах работы сенсора, регистрировать величину тока в обоих нагревателях, падение напряжения на каждом из них, определяют выделяющуюся электрическую мощность и температуру горячих зон измерительного элемента, поддерживают с высокой точностью температуру микронагревателя, на который нанесен каталитический слой.

Функционально драйвер должен находиться в непосредственной близости от чувствительного элемента. Поэтому его целесообразно разместить в корпусе блока-щупа. Питание и сигналы управления сенсором, с одной стороны, и первичная информация от измерительного элемента, с другой, должны передаваться по экранированному кабелю, связывающему драйвер с базовой частью прибора.

Мы считаем, что прибор в таком исполнении будет достаточно компактным и легким, чтобы базовый блок, содержащий блоки измерения, индикации и питания, легко переносился оператором на плечевом ремне. Для удобства восприятия информации мы предполагаем не только ее визуализацию светодиодным индикатором, но и вывод звукового сигнала на головной телефон.

Уровень потребления энергии всего устройства в целом не превысит 1,0-1,5 Вт. Поэтому блок питания, обеспечивающий работу устройства в автономном режиме, не займет много места и будет относительно легким. Тем не менее, необходимо предусмотреть питание прибора от стационарной сети 220 В переменного тока или бортовой сети передвижных устройств.

Фотография разработанного нами макета водородного течеискателя представлена на рис. 2.

Изготовленный нами макет водородного течеискателя состоит из следующих основных элементов:

- измерительного элемента 2;
- драйвера 3;
- имитатора кабеля 4;
- блока обработки информации и управления на основе микроконтроллера 5;
- блока индикации, состоящего из:
 - цифрового вольтметра 6;
 - быстродействующего светодиодного индикатора 7;
 - звукового излучателя 8;
- блока питания (на рис. 2 не показан).

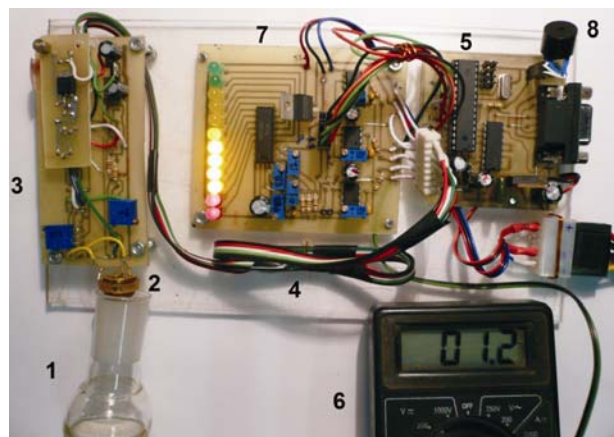


Рис. 2. Макет измерительной части водородного течеискателя

Fig. 2. Layout of measuring hydrogen leak detector

Для исследования и калибровки прибора использовался индивидуальный отвод от газового стенда 1, по которому подается газозвдушная смесь заданного состава.

На рис. 3 представлена принципиальная электрическая блок-схема разработанного устройства.

Основные особенности используемого измерительного элемента уже описаны ранее в этой статье. Поэтому сразу перейдем к драйверу.

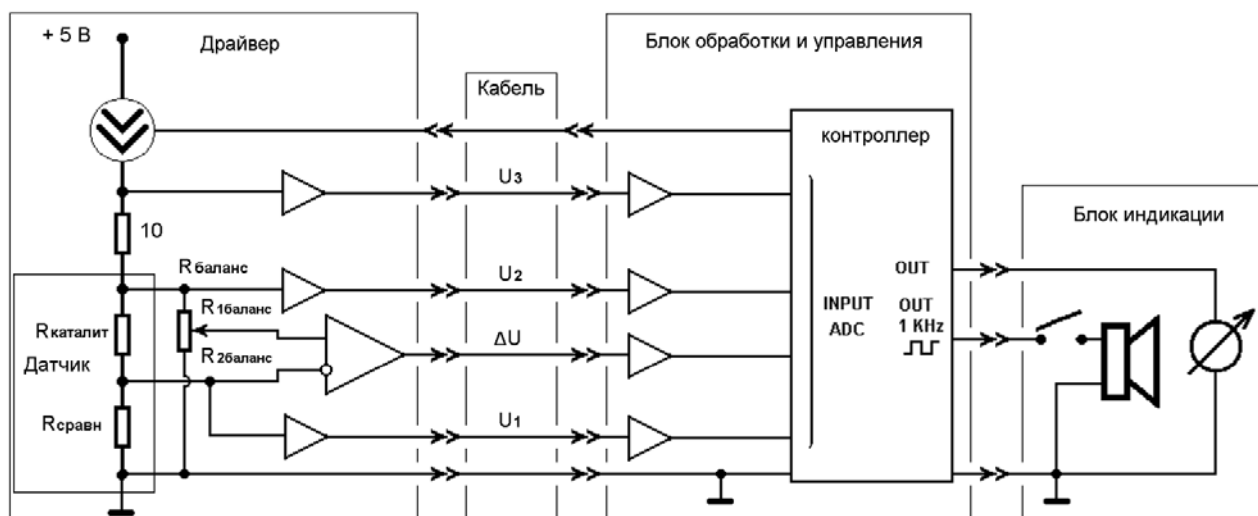


Рис. 3. Блок-схема измерительной части водородного течеискателя
Fig. 3. Block diagram of the measurement part of the hydrogen leak detector

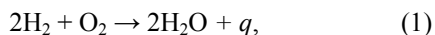
Одной из основных функций драйвера 3, размещенного в выносном блоке, является обеспечение автоматического поддержания температуры каталитического слоя. Специально разработанное для этого устройство непрерывно измеряет сопротивление нагревателя с нанесенным каталитическим слоем и поддерживает его на заданном уровне. А поскольку этот нагреватель одновременно является и платиновым термометром-сопротивлением, то поддержание величины его сопротивления на заданном уровне означает и поддержание его температуры. При этом мы обоснованно предполагаем, что переходное тепловое сопротивление между каталитическим слоем и соответствующим нагревателем практически отсутствует.

При таком предположении точность поддержания температуры в конечном счете определяется стабильностью измерительных операционных усилителей и величиной усиления в цепи обратной связи. Мы выбрали эти параметры таким образом, чтобы вариации температуры не превышали 0,1% во всех возможных режимах за весь период работы.

Хорошо известно [6], что измерительные элементы термокаталитического типа имеют практически линейную характеристику зависимости выходного сигнала от концентрации измеряемого вещества. Однако в нашем случае это оказалось не так.

Рассмотрим некоторые особенности измерения концентрации водорода с использованием мембранных термокаталитических сенсоров данного типа.

Дополнительный нагрев каталитического слоя связан с реакцией окисления, в нашем случае водорода:



где q – тепло, выделяющееся в результате реакции окисления водорода, при заданной температуре T .

Поскольку используемая методика измерений предполагает поддержание определенной температуры на нагревателе с нанесенным каталитическим слоем, при диффузионном поступлении детектируемой газовой смеси к зоне реакции тепловое равновесие в реакционной зоне сенсора может быть описано следующим уравнением:

$$W_{\text{электр}} + W_{\text{хим}} + kW_{\text{эл-ср}}\Delta T = W_{\text{конв.}}, \quad (2)$$

где $W_{\text{электр}} = IR_{\text{кат}}$ – тепло, выделяемое электрическим током на нагревателе с каталитическим слоем; $W_{\text{хим.}} = cq$ – химической реакции окисления водорода (1), c – концентрация водорода; $kW_{\text{эл-ср}}\Delta T$ – приток тепла от элемента сравнения, ΔT – разница температур между нагревателями, k – коэффициент взаимного теплового воздействия микронагревателей, который определяется топологией сенсора; $W_{\text{конв.}}$ – конвективный отвод тепла из реакционной зоны чувствительного элемента.

В описанной системе достаточно быстро устанавливается динамическое тепловое равновесие, в результате чего $W_{\text{конв.}} = \text{const}$.

Несложные математические преобразования с учетом того, что для платинового термометра сопротивления $R = R_0(1 + \alpha\Delta T)$, приводят к следующему выражению, связывающему концентрацию примеси водорода с электрическими параметрами предлагаемого сенсора:

$$c = U_{\text{ср}}^2 k \left(1 - \frac{R_{\text{кат}}}{R_{\text{ср}}} \right) - U_{\text{ср}} \frac{1}{R_{\text{ср}}}, \quad (3)$$

где $U_{\text{ср}}$ – падение напряжения на нагревателе элементе сравнения; $R_{\text{ср}}$ – сопротивление нагревателя элемента сравнения; $R_{\text{кат}}$ – сопротивление нагревателя элемента с каталитическим слоем.

Таким образом, при изменении концентрации на величину Δc , мы получаем изменение падения напряжения на $\Delta U_{\text{ср}}$ на нагревателе элемента сравнения:

$$\Delta U_{\text{ср}} \approx \Delta c U_{\text{ср}} \frac{R_{\text{ср}} - R_{0\text{кат}}}{R_{\text{ср}}}, \quad (4)$$

где $R_{0\text{кат}}$ – сопротивление нагревателя с нанесенным каталитическим слоем при комнатной температуре.

Режим работы чувствительного элемента должен обеспечить условия, при которых все продукты реакций находятся в газовой фазе, поэтому температура на поверхности каталитического слоя всегда должна быть выше температуры кипения любых веществ, которые могут на ней находиться. Варьируя топологию и электрические параметры работы сенсора, мы имеем возможность существенно влиять на чувствительность метода. Экспериментальным способом, подбирая оптимальные параметры для каждого состава катализатора, нам удалось добиться высокой селективности сенсора при определении водорода. Но при этом нам пришлось смириться с невозможностью получить линейную зависимость величины отклика чувствительного элемента от концентрации водорода в воздухе.

Данную проблему удалось решить, введя промежуточную цифровую обработку сигнала отклика сенсора микроконтроллером. Для этого мы использовали микроконтроллер фирмы Atmel ATmega8, который полностью удовлетворил все наши потребности.

Для повышения чувствительности метода принято проводить измерения $\Delta U_{\text{ср}}$ мостовым способом. На блок обработки и управления передается сигнал с измерительного моста $R_{\text{каталит}}/R_{\text{сравн}}$ и $R_{1\text{баланс}}/R_{2\text{баланс}}$ (см. рис. 3). Установленный в макете дифференциальный усилитель позволяет не только передать сигнал разбаланса моста на блок обработки и управления с минимальными искажениями, но и усилить его в необходимое число раз (от 20 до 200).

Для исключения влияния на измерения падений напряжения на проводах питания (провода питания и прочие по условиям гибкости и удобства работы

изначально закладывались небольшого сечения) и прочих помех в драйвере использована отдельная «измерительная земля», относительно которой микроконтроллер считывает все измеряемые сигналы.

Для получения сигналов, удобных для дальнейшей обработки, напряжение разбаланса моста преобразуется в относительные величины, которые масштабируются соответствующим образом драйвером в блоке обработке и управления сигналами.

Масштабирование необходимо для согласования напряжения питания моста с допустимым диапазоном напряжений U_{ref} (опорное напряжение АЦП микроконтроллера).

При таком построении программы обработки промежуточных значений удалось привести итоговые результаты к требуемому относительному виду и упростить программную реализацию получения выходных сигналов.

Микроконтроллер, согласно прописанной программе, проводит измерения напряжения разбаланса моста относительно напряжения питания моста. Измерения проводятся 50 раз в секунду, что дает возможность применить к полученным данным цифровую фильтрацию, уменьшающую разброс данных на выходе схемы. Полученный результат выводится микроконтроллером по нескольким каналам вывода:

- через встроенный порт RS232 на терминал с возможностью сохранения данных в файле на внешнем компьютере;

- через встроенный широтно-импульсный модулятор – в виде аналогового напряжения, пропорционального концентрации, которое может отображать стрелочный или цифровой прибор. Для визуализации этой величины возможно применение аналоговой шкалы из светодиодов (обе эти возможности используются в макете);

- изменением частоты и формы напряжения на выходе, предназначенном для подключения звукового излучателя или наушника.

Кроме того, в процессе измерения программно анализируется и само напряжение питания моста, а соответственно, и U_{ref} АЦП микроконтроллера. Это обеспечивается измерением части стабилизированного напряжения питания микроконтроллера и текущим значением опорного напряжения АЦП.

При выходе напряжения питания моста за заданные пределы:

- превышение может обозначать обрыв нагревателей или кабеля, сильное охлаждение датчика, попадание в среду чистого водорода (высокая теплопроводность детектируемой среды);

- уменьшение может означать или попадание датчика в среду с высоким содержанием водорода (5-60 %_{об}, но не чистый водород), или замыкание нагревателей, кабеля и т.п.

Во всех этих случаях устройство генерирует сигнал «авария», индицируемый частым (3-5 раз в се-

кунду) изменением напряжения индикации, и звуковым сигналом – звучащим непрерывно.

Пример работы макета прибора можно посмотреть в Интернете по адресу http://vk.com/video8342399_163538276.

Как показали испытания, прибор надежно определяет концентрацию водорода в воздухе в диапазоне 0,01-2,0%_{об}.

При детектировании микротечи выходящий через дефектную область газ будет содержать практически чистый водород, что обусловлено малыми размерами отверстий. Однако за счет малых скоростей поступления газа и высоких скоростей его диффузии он будет смешиваться с окружающим воздухом. При этом итоговая концентрация водорода в детектируемой смеси не будет превышать концентрационных пределов измерений.

С другой стороны, в случае струйной течи из щелевого канала будет выходить газозвдушная смесь с содержанием водорода, соответствующим исходной концентрации, что также не позволит превысить измерительные пределы прибора.

Нижний предел измерений ограничивается термоанемометрическим эффектом, связанным с возникающими в измерительном элементе конвективными потоками при перемещении измерительного зонда в пространстве. Для применяемой нами конструкции вносимая погрешность составляла величину, эквивалентную ~ 0,01%_{об} водорода в воздухе.

Снижение влияния внешних потоков на показания прибора можно уменьшить за счет обеспечения только диффузного поступления водорода в реакционную зону. Это можно сделать, введя более плотные фильтры, однако при этом заметно увеличится время отклика. Оценить целесообразность изменений такого рода можно с использованием предложенного макета течеискателя.

В процессе исследований поведения водородного течеискателя мы использовали воздушный термостат и проточный многопозиционный газовый стенд, обеспечивающий динамическое формирование газозвдушной смеси заданного состава и влажности [7].

Основные результаты исследований макета водородного течеискателя представлены далее.

Поскольку основной задачей при создании течеискателя являлось снижение влияния влажности окружающей среды на величину сигнала, получаемого при измерении концентрации водорода в воздухе, была проведена серия экспериментов по сравнительному поведению течеискателя при различной влажности газозвдушной смеси. Измерения концентрации водорода в воздухе снимались в двух крайних положениях по влажности: «сухой газ» – влажность 10-15%, «влажный газ» – 95-100%. На рис. 4 приведены результаты, полученные в процессе испытаний макета течеискателя на газовом стенде.

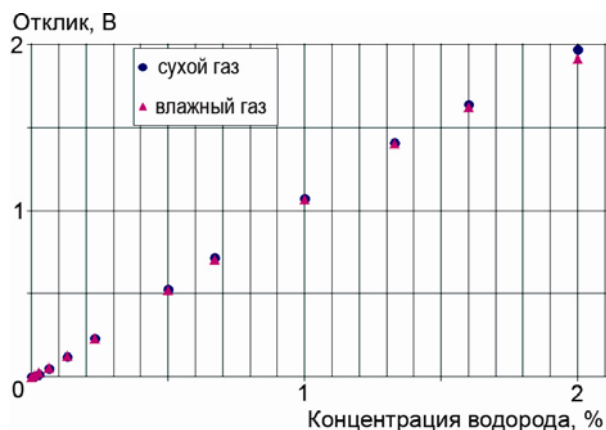


Рис. 4. Зависимость отклика от концентрации водорода при различной влажности газовой смеси
Fig. 4. Dependence of the response of hydrogen concentration at different humidity gas mixture

Была также проведена серия экспериментов по сравнительному поведению течеискателя при различной температуре газовой смеси. Измерения концентрации водорода в воздухе снимались при двух температурах: 20 и 40 °С. На рис. 5 приведены результаты, полученные в процессе испытаний макета течеискателя в термостате с использованием выносной ячейки газового стенда.

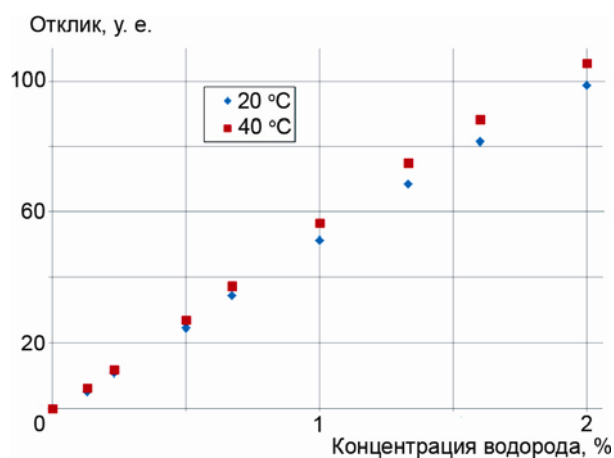


Рис. 5. Зависимость отклика от концентрации водорода при различной температуре газовой смеси
Fig. 5. Dependence of the response of the hydrogen concentration at different temperature gas mixture

Испытания проводились в газодинамическом режиме формирования газовой среды при расходах газовых потоков 200-600 мл/мин на специализированном газовом стенде [7].

Из полученных результатов хорошо видно, что зависимость отклика течеискателя от влажности и температуры детектируемой среды практически отсутствует.

Выводы

Представленные результаты свидетельствуют, что комплексный подход при создании термокаталитического чувствительного элемента, а также разработка специализированных электронных устройств, обеспечивающих оптимальные условия работы сенсоров, позволили разработать измерительный блок водородного течеискателя с уникальными характеристиками.

Данное устройство, построенное на дифференциальном, термокаталитическом измерительном элементе пленочного типа, обладает высокой селективностью к наиболее распространенным примесям, характерным для атмосферы промышленных помещений и строительных площадок. К таким примесям относятся газы: метан, пропан, бутан; пары спирта, ацетона, бензина.

Результаты измерений, полученные с использованием макета течеискателя, практически не зависят от температуры и влажности детектируемой смеси в диапазоне концентраций 0,01-2,0 %_{об} водорода в воздухе.

Получить подобные результаты нам удалось благодаря изменению топологии микронагревателей чувствительного элемента, что обеспечило необходимый уровень их взаимного влияния, а также подбору оптимального состава каталитического слоя и температурного режима работы чувствительного элемента сенсора.

Для поддержания электрических параметров работы сенсора и приведения получаемых величин к линейному виду мы использовали методику промежуточной цифровой обработки сигналов с использованием микроконтроллера. В результате удалось добиться линейной зависимости сигнала на выходе прибора от концентрации водорода в измеряемой газовой смеси.

Изготовленный действующий макет течеискателя отличается от известных аналогов высокой надежностью и точностью определения места течи. Высокие эксплуатационные свойства и неприхотливость в работе данного прибора удалось сочетать с небольшими размерами и весом прибора. Затраты на изготовление предлагаемого устройства можно минимизировать за счет исключительной простоты конструкции.

Анализ литературных данных подтверждает, что проблема контроля герметичности замкнутых объемов является и будет еще долго оставаться актуальной задачей. Для решения ее потребуются использование новейших устройств и современных методик.

Авторы благодарят Лаврентьева А.С. из ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» за полезное обсуждение представленных результатов на этапе подготовки данной публикации.

Список литературы

1. [http://www05.abb.com/global/scot/scot203.nsf/veritydisplay/b167b248f0a284ecc1257841003bd1d5/\\$file/DS_AK100-RU_J.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot203.nsf/veritydisplay/b167b248f0a284ecc1257841003bd1d5/$file/DS_AK100-RU_J.pdf).
2. Забатуркин Д.И., Гусев А.Л., Немышев В.И. Водородные течеискатели и индикаторы утечки // Альтернативная энергетика и экология – ISJAEЕ. 2010. № 6. С. 33–42.
3. www.taf-sensor.ru.
4. Гогиш-Клушин С.Ю., Гогиш-Клушина О.С., Харитонов Д.Ю. Особенности разработки топологии высокотемпературного пленочного микронагревателя для полупроводникового газового сенсора // Альтернативная энергетика и экология – ISJAEЕ. 2009. № 8. С. 67–72.
5. Васильев А.А., Гогиш-Клушин С.Ю., Гогиш-Клушина О.С., Харитонов Д.Ю. Газовые датчики с тонкими мембранами из нанокристаллического оксида алюминия в качестве чувствительных элементов // Датчики и системы. 2006. № 10. С. 4–8.
6. http://www.figaro.co.jp/en/data/pdf/20091110165940_74.pdf.
7. Гогиш-Клушин С.Ю., Гогиш-Клушина О.С., Ельчанин А.В., Харитонов Д.Ю. Особенности поведения полупроводниковых газовых датчиков пленочного типа при работе в режиме энергосбережения // Альтернативная энергетика и экология – ISJAEЕ. 2010. № 7. С. 18–22.

