

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет» (НИУ)
Высшая школа электроники и компьютерных наук
Кафедра «Инфокоммуникационные технологии»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой ИКТ
_____ С.Н. Даровских
« ____ » _____ 2020 г.

Беспроводной сенсорный узел сероводорода h2s

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ - Д 11.03.02.2020.436.00 ПЗ

Руководитель работы,
_____ В.В. Новиков
« ____ » _____ 2020 г.

Автор работы,
студент группы КЭ-411
_____ Д.Э. Мелиев
« ____ » _____ 2020 г.

Нормоконтролер,
_____ В.Д. Спицына
« ____ » _____ 2020 г.

Челябинск 2020

РЕФЕРАТ

Мелиев Д.Э. Беспроводной сенсорный узел сероводорода H₂S - Челябинск: ЮУрГУ, КЭ - 411, 2020, 46с. - Библиографический список – 13 наим., 28 рис., 1 табл.

Методы контроля уровня концентрации того или иного газа в воздухе хорошо изучены в настоящее время. Существует множество статей и диссертаций по разработке такого типа устройства, которое контролирует этот уровень и при необходимости сообщает нам о превышении пороговых значений. Но для улучшения эффективности применения газоанализаторов устройство модернизируется изо дня в день.

В данной работе приводятся методы разработки беспроводного сенсорного узла сероводорода h₂s. Это проводится для увеличения эффективности, удобства эксплуатации данного прибора.

В результате проделанной работы мы получили устройство, удовлетворяющее нашему техническому заданию. По сравнению со стационарными газоанализаторами наше устройство имеет небольшие массогабаритные показатели, что позволяет его применять практически на любом рабочем месте. Приспособление обладает звуковой сигнализацией о превышении порогов опасных для жизни концентраций газов. Одним из главных назначений портативного газоанализатора, целью которого является контролирование значений различных примесей, содержащихся в атмосфере рабочей территории, является исследование замкнутого пространства и подземных объектов на предмет недостатка кислорода, присутствия ядовитых элементов и горючих газов, к примеру, при оформлении допуска рабочих до осуществления работ.

					ЮУрГУ - Д 11.03.02.2020.436.00 ПЗ			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
Разраб.	Мелиев Д.Э.				Беспроводной сенсорный узел сероводорода h ₂ s	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
Провер.	Новиков В.В.							1
Н. Контр.	Спицына В.Д.				ЮУрГУ, кафедра ИКТ			
Утверд.	Даровских С.Н.							

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 Анализ технологии беспроводного сенсорного узла сероводорода h2s.....	9
1.1 История совершенствования технологии.....	9
1.2 Принцип работы на примере МОП газоанализатора.....	11
1.3 Общие сведения о методах обнаружения сероводорода в воздухе.....	12
1.4 Классификация газоанализаторов.....	14
2 Сравнение датчиков компании Synkera и Figaro.....	16
2.1 Датчики газа от компании Figaro.....	16
2.1.1 Принцип работы.....	17
2.1.2 Характеристики датчика.....	19
2.1.3 Ассортимент товаров компании Figaro.....	25
2.2 Датчики газа Synkera.....	27
2.2.1 Принцип действия.....	28
2.2.2 Характеристики датчика.....	29
2.2.3 Ассортимент товаров компании Synkera.....	30
2.3 Итоги сравнения двух фирм Figaro и Synkera.....	31
3 Проектирование устройства, реализующего измерение концентрации сероводорода в воздухе.....	34
3.1 Структурная схема устройства.....	34
3.2 Принципиальная схема устройства.....	35
3.3 Меры предосторожности при использовании газовых датчиков.....	42
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	45
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	46

ВВЕДЕНИЕ

Сероводород (также называется сульфидом водорода, дигидросульфидом и сернистым водородом) - бесцветный газ со сладковатым вкусом и неприятным запахом тухлых куриных яиц. Химическая формула - H_2S . Хорошо растворим в этаноле, плохо - в воде. Канцерогенный и токсичный газ. Горюч. Концентрационные пределы взрываемости составляют (4,5...45) % дигидросульфида.

Для здоровья и жизни человека сероводород чрезвычайно опасен. В значительных количествах он может повлиять на работоспособность такого жизненно важного органа, как сердце, после чего это приведет к летальному исходу. А если содержание H_2S слишком велико, тогда смерть наступает практически мгновенно. Симптомы отравления сероводородом: потеря обоняния, головокружение и тошнота.

Так как сульфид водорода тяжелее воздуха, то для контроля его содержания (максимальный порог концентрации H_2S в воздухе - 10 мг/м³) используют блоки датчиков (измерительные преобразователи) сероводорода и сенсоры сероводорода, входящие в их состав и устанавливаются в помещении ближе к полу.

Наиболее распространённые места и области применения сероводорода:

- в сельскохозяйственных производствах (для борьбы с вредными насекомыми);
- в медицине (лечебные ванны);
- участвует при получении серной кислоты, элементарной серы и сульфидов;
- в химической промышленности;
- и в других.

Также сферы применения сенсорных узлов:

- нефтеперерабатывающие заводы;
- буровые платформы и установки;
- нефте- и газодобывающие платформы;

- операции регистрации свойств бурового раствора;
- установки обессеривания;
- ядерные установки по производству тяжелой воды;
- водоочистные сооружения;
- химзаводы;
- площадки устья скважины;
- площадки нефтедобывающих и нагнетательных скважин [2].

1 Анализ технологии беспроводного сенсорного узла сероводорода h₂s

В соответствии с техническим заданием, основными целями выпускной квалификационной работы являются разработка устройства газоанализатора, реализующего анализ концентрации сероводорода h₂s, что применимо во многих сферах общества, таких как химзаводы, нефте-газодобывающие платформы и др.

Будут составлены две схемы: схема подключения датчика и габаритные размеры прибора.

Для достижения поставленных целей, необходимо решить следующие задачи:

- изучить теоретические основы методов построения датчиков такого типа;
- разработать устройство газоанализатора;
- выполнить проверку работоспособности прибора;
- провести исследование эффективности прибора.

Разработка и исследования будут проводиться с использованием необходимой литературы и справочных данных.

1.1 История совершенствования технологий

В первой половине 17 века, когда в Англии стали добывать уголь в шахтах, то столкнулись с проблемой загазованности. Оказалось, что в шахтах выделялся газ, который был взрывоопасен. Впервые взрывы рудничного газа на шахтах были описаны в конце 17 века Р. Мосли.

Чтобы очистить забой применяли очень примитивный и опасный метод: выжигание газа с помощью шеста с прикрепленными к нему свечами. Таким образом, газ или сгорал, или взрывался, а забой становился безопасен для работы.

Для определения опасного уровня загазованности во время работы шахтеры также использовали тонкие свечи, в присутствии горючего газа они горели ярче. Так появился первый сигнализатор загазованности. Вскоре профессор Окс-

фордского университета Р. Плот определил состав рудничного газа. Основной его составляющей был метан.

В качестве газоанализаторов в шахтах Англии почти до конца 20 века использовали канареек. Эти птички очень чувствительны даже к незначительным концентрациям метана и угарного газа.

В 1815 году английским физиком Г. Дэви была изобретена первая шахтерская лампа, которая также служила для определения взрывоопасного уровня метана. В правилах проведения горных работ и обеспечения их безопасности от 1893 года описывается, как в качестве сигнализатора загазованности использовать спиртовую лампу Пилера и лампу Дэви, чем выше концентрация метана, тем ярче они будут гореть, а пламя будет удлиненным с голубоватым ореолом. Производить обследование лав, перед общим спуском шахтеров в забой, должны были несколько опытных горняков.

На смену этим лампам пришла бензиновая лампа, которая использовалась для определения концентрации метана вплоть до середины 20 века. Эти и другие подобные лампы называли безопасными, так как с ними можно было работать в среде загазованной метаном [12].

В 19 веке первые образцы газоанализаторов, применявшиеся для регулировки двигателей, из всего «букета» побочных продуктов сгорания измеряли только концентрацию СО (то есть были однокомпонентными приборами). Ее анализ позволял судить о соотношении топливовоздушной смеси, а значит, мог помочь в настройке карбюратора. В «первобытных» газоанализаторах использовался эффект изменения электропроводности платиновой спирали в среде оксида углерода.

К 70-м годам, одной из критических проблем являлось контролирование вредоносных выбросов автомобильного транспорта, и так как к тому времени техника была достаточно развита, то это позволило создать наиболее высококачественные, двухкомпонентные приборы. При помощи приборов появилась возможность дополнительно измерять концентрацию еще одного вредоносного ком-

понента — HS (несгоревших частиц углеводородов, вступающих в структуру горючего). Кстати, содержание углеводородов (также и оксидов азота) определяется не в процентах, как всех прочих газообразных компонентов, а в PPM – количестве частиц на миллион. Помимо этого, использовался иной, более точный метод определения концентрации – спектрометрирование выхлопных газов в ИК-диапазоне. Этот же принцип применяется и в современных газоанализаторах.

Дальнейшее совершенствование газоанализаторов определялось как постоянно ожесточавшимся контролем токсичности, так и повышением требований к прибору как диагностическому инструменту [13].

1.2 Принцип работы на примере МОП газоанализатора

Одна из известнейших фирм в сфере разработки газоанализаторов «Дженерал Мониторс» использует в сенсоре запатентованную металл-оксид-полупроводниковую (МОП H_2S) пленку для обнаружения присутствия газа H_2S . МОП-пленка H_2S помещается на субстрат, расположенный между двумя электродами. При отсутствии газа электрическое сопротивление между двумя электродами остается очень высоким (исчисляется мегаомами). По мере впитывания H_2S в пленку сопротивление между электродами снижается (до килоом). Это снижение сопротивления логарифмически пропорционально концентрации H_2S , присутствующего в воздухе. Процесс абсорбции H_2S на МОП-пленку H_2S наиболее эффективен при высоких температурах. На внешней стороне субстрата имеется нагревательное кольцо. Температура этого нагревательного кольца измеряется термистором и поддерживается на постоянном уровне благодаря электрической цепи, расположенной в корпусе сенсора. По мере абсорбции H_2S на МОП-пленку H_2S электроны начинают свободнее перемещаться от одного электрода к другому. На это указывает снижение сопротивления. Процесс абсорбции H_2S на МОП-пленку H_2S полностью обратим. По мере снижения концентрации H_2S сопротивление между электродами увеличивается.

Называемые часто МОП- (металл-оксидными полупроводниковыми) сенсорами, они являются основой детекторов сероводорода H₂S General Monitors, моделей S4100T, S4000T, а также контрольных модулей системы серии 02. Имея неоспоримые преимущества перед традиционными электрохимическими сенсорами, МОП-сенсоры стали основным средством контроля ПДК H₂S по всему миру. Сенсоры имеют компактное исполнение, небольшие различия в дизайне типов сенсоров объясняются отличиями в рабочих условиях среды. Сенсоры H₂S имеют большое количество международных сертификатов, таких как FM, CSA, ATEX [1].

1.3 Общие сведения о методах обнаружения сероводорода в воздухе

Существует множество методов обнаружения концентрации того или иного газа в воздухе, такие как механические, акустические, тепловые, магнитные, оптические, ионизационные, масс-спектрометрические, электрохимические, полупроводниковые.

Что бы обнаружить содержание сульфида водорода в воздухе нам подойдут некоторые из вышеперечисленных методов.

Оптический метод обнаружения — метод предназначен для измерения оптической плотности (абсорбционный метод), интенсивности излучения (эмиссионный метод), коэффициента преломления (рефрактометрический). Абсорбционные методы, основанные на измерении избирательного поглощения инфракрасного, ультрафиолетового или видимого излучения контролируемым компонентом, применяют, например, для избирательного определения NO₂, O₃, а также интересующего нас H₂S, SO₂, CS₂, формальдегида, фосгена, Cl₂, паров Hg, Na, Pb и других. Минимально определяемая концентрация (МОК) метода от 0,00001 до 0,01 %. Широко используется оптикоакустический метод, основанный на пульсации давления газа в приемнике излучения при поглощении прерывистого потока излучения, прошедшего через анализируемый газ. Метод позволяет опре-

делять CO, CO₂, CH₄, NH₃, SO₂, ряд органических соединений. МОК метода от 0,001 до 0,01 %. Источники излучения в абсорбционных методах — лампы накаливания, ртутные, водородные, ртутно-кадмиевые, кадмиевые, нихромовые спирали.

Электрохимический метод обнаружения — с помощью данного метода измеряют параметры системы, состоящей из жидкого или твердого электролита, электродов и определяемого компонента газовой смеси или продуктов его реакции с электролитом. Так, потенциометрический метод основан на зависимости потенциала индикаторного электрода от концентрации иона, полученного при растворении определяемого компонента в растворе; амперометрический — на зависимости между током и количеством определяемого компонента, прореагировавшего на индикаторном электроде; кондуктометрический — на измерении электропроводности растворов при поглощении ими определяемого компонента газовой смеси. Электрохимическими методами измеряют содержание примесей O₂, CO, NO, NO₂, SO₂, H₂S, H₂, C₁₂, NH₃, O₃ и др. МОК метода от 0,000001 до 0,0001 % [5, 6].

В приведенной ниже таблице 1 описаны основные преимущества и недостатки некоторых типов газоанализаторов.

Таблица 1 — основные преимущества и недостатки некоторых газоанализаторов

Тип газоанализатора	Преимущества	Недостатки
Электрохимический	Позволяет обнаруживать даже мельчайшие частицы вредных газов; широкий диапазон определения загрязняющих органических и неорганических веществ;	Ограниченное быстродействие; низкая селективность;

Таблица 1 — основные преимущества и недостатки некоторых газоанализаторов

Тип газоанализатора	Преимущества	Недостатки
	низкое энергопотребление; приемлемая цена	
Оптический	Высокая чувствительность; отсутствуют вредные реагенты, необходимые для анализа смеси газов; высокое быстродействие; селективность и чувствительность позволяют определять практически все загрязняющие газы и вещества	Высокая стоимость

1.4 Классификация газоанализаторов

По количеству измеряемых компонентов газоанализаторы классифицируются следующим образом:

- однокомпонентные;
- многокомпонентные.

Однокомпонентные газоанализаторы – это, как правило, простые приборы, которые комплектуются одним датчиком или сенсором и рассчитаны для измерений концентрации только одного вещества. Газоанализаторы на один компонент могут иметь портативное, переносное либо стационарное исполнение конструкции.

Многокомпонентные газоанализаторы используются для измерения и кон-

троля одновременно нескольких разных веществ. В таких мультигазовых анализаторах обычно используются отличные друг от друга типы сенсоров или электрохимические ячейки. В зависимости от количества и типа установленных чувствительных элементов многокомпонентный газоанализатор способен отображать на экране цифрового дисплея свои показания от 1 до 6 газов одновременно.

По количеству датчиков или каналов измерения газоанализаторы подразделяются на:

- одноканальные;
- многоканальные.

Одноканальные газоанализаторы – это устройства, созданные для контроля содержания в воздухе одного определённого вещества и имеющие один датчик или один измерительный канал. Выделяют стационарные моноблочные одноканальные газоанализаторы, объединяющие в одном корпусе измерительный сенсор, электронный преобразователь, а также световые либо цифровые индикаторы; стационарные одноканальные приборы с информационным пультом и одним выносным датчиком либо измерительным преобразователем на конкретный газ. Одноканальные газоанализаторы стационарного типа могут работать как автономно, так и в составе измерительной газоаналитической системы, которая объединяет необходимое количество газоанализаторов. Кроме того, одноканальными газоанализаторами могут быть и компактные переносные приборы, в том числе персональные (индивидуальные).

Многоканальные газоанализаторы – это устройства для одновременного контроля до 16 и больше каналов измерения. В одном таком газоанализирующем устройстве может присутствовать целый комплекс каналов измерения различных газов в произвольном составе [3, 4].

2 Сравнение датчиков компании Synkera и Figaro

Отечественный рынок газоанализаторов в настоящее время очень обширен, однако, большинство приборов, собранных в России являются приборами - интернационалистами. В том смысле, что в связи с конкуренцией производители стремятся заполучить рынок не только качеством своего продукта, но и достаточно привлекательной ценой. И что бы по максимуму достичь желаемой цены прибора производители используют основные блоки, произведенные в других странах. Стремясь удешевить конечный продукт, многие фирмы используют комплектующие менее известных компаний, качество которых незначительно хуже.

В своей работе я приведу сравнение газоанализаторов, заинтересовавших меня фирм: Figaro — японская фирма, зарекомендовавшая себя на рынке производства сенсорных узлов, и газоанализаторы фирмы Synkera — немалоизвестный американский бренд.

2.1 Датчики газа от компании Figaro

Техническая информация по использованию датчиков TGS для детекторов утечек токсичных и взрывоопасных газов.

Датчики Figaro TGS представляют собой тип толсто пленочного металлооксидного полупроводника, который предлагает низкую стоимость, длительный срок службы и хорошую чувствительность к целевым газам при использовании простой электрической цепи. Эти датчики особенно подходят для применения в детекторах утечки газа для токсичных и взрывоопасных газов.

На рисунке 1 изображены датчики газа от компании Figaro.



Рисунок 1 - Датчики газа от компании Figaro

2.1.1 Принцип работы

Чувствительным материалом в газовых сенсорах TGS является оксид металла, чаще всего SnO_2 . Когда кристалл оксида металла, такой как SnO_2 , нагревается при определенной высокой температуре на воздухе, кислород адсорбируется на поверхности кристалла с отрицательным зарядом. Затем донорные электроны на поверхности кристалла переносятся на адсорбированный кислород, в результате чего остаются положительные заряды в слое пространственного заряда. Таким образом, формируется поверхностный потенциал, чтобы служить потенциальным барьером против потока электронов (рисунок 2).

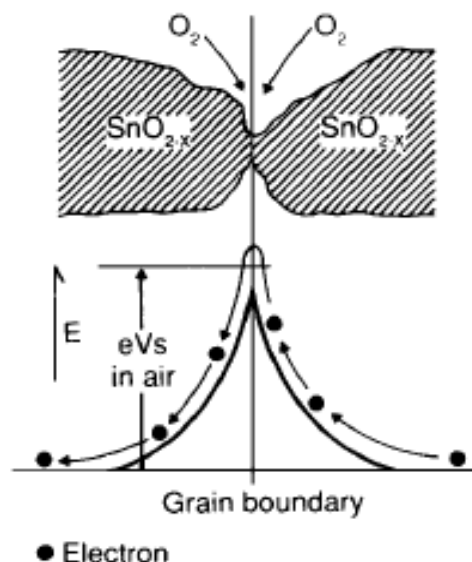


Рисунок 2 – Модель потенциального барьера (при отсутствии газов)

Внутри датчика электрический ток протекает через соединительные части (межзеренную границу) микрокристаллов SnO_{2-x}. На границах зерен адсорбированный кислород образует потенциальный барьер, который препятствует свободному движению носителей. Электрическое сопротивление датчика связано с этим потенциальным барьером. В присутствии раскисляющего газа поверхностная плотность отрицательно заряженного кислорода уменьшается, поэтому высота барьера на границе уменьшается (рисунок 3 и 4). Уменьшенная высота барьера уменьшает сопротивление датчика.

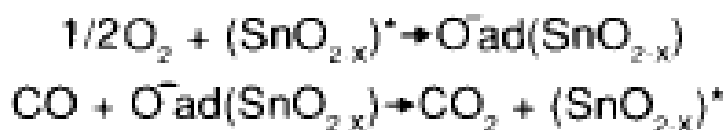


Рисунок 3 - Схема реакции между CO и адсорбированным кислородом на SnO₂

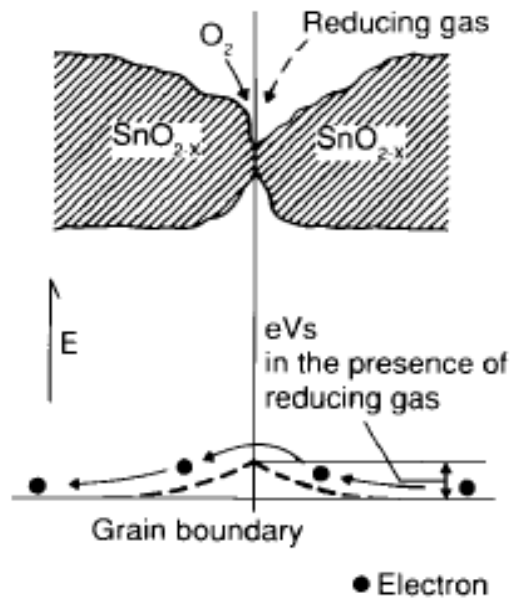


Рисунок 4 - Модель потенциального барьера (в присутствии газов)

Соотношение между сопротивлением датчика и концентрацией раскисляющего газа может быть выражено следующим уравнением в определенном диапазоне концентрации газа:

$$R_s = A[C]^{-\alpha},$$

где: R_s = электрическое сопротивление датчика;

A = постоянная;

$[C]$ = концентрация газа;

α = наклон кривой R_s .

2.1.2 Характеристики датчика

Зависимость от парциального давления кислорода

Рисунок 5 иллюстрирует взаимосвязь между давлением кислорода в атмосфере (P_{O_2}) и сопротивлением типичного датчика TGS в чистом воздухе. Обратим внимание, что пониженное давление кислорода снижает сопротивление датчика.

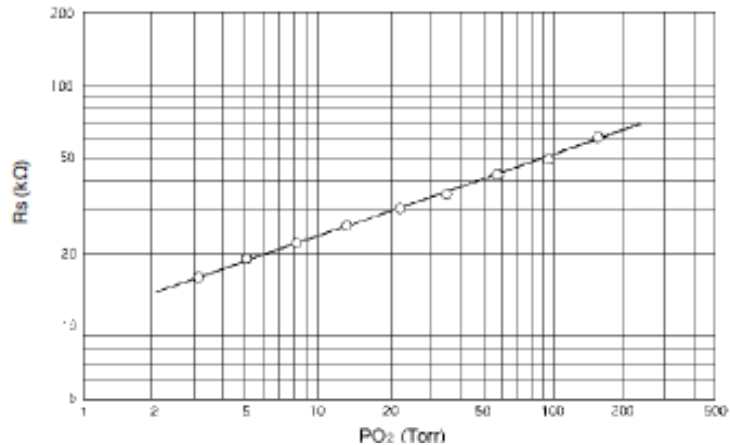


Рисунок 5 - Типичная зависимость от PO₂

Чувствительность к газу

Согласно формуле электрического сопротивления датчика, отношение сопротивления датчика к концентрации газа является линейным в логарифмическом масштабе в практическом диапазоне концентрации газа (от нескольких частей на миллион до нескольких тысяч частей на миллион).

На рисунке 6 изображен типичный пример взаимосвязи между сопротивлением датчика и концентрацией газа. Датчик будет показывать чувствительность к различным раскисляющим газам, а относительную чувствительность к определенным газам оптимизировать с учетом состава чувствительных материалов и рабочей температуры. Поскольку фактические значения сопротивления датчика варьируются от датчика к датчику, типичные характеристики чувствительности выражаются как отношение сопротивления датчика при различных концентрациях газов (R_s) к сопротивлению при определенной концентрации целевого газа (R_o).

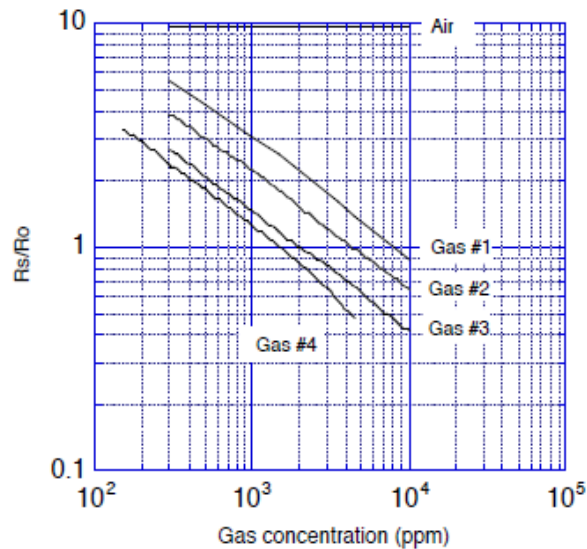


Рисунок 6 - Типичные характеристики чувствительности

Отклик датчика

Рисунок 7 демонстрирует типичное поведение, когда датчик подвергается воздействию и затем удаляется из раскисляющего газа. При воздействии газа на датчик, его сопротивление моментально падает. После того, как датчик изъяли из среды с высокой концентрацией газа, его сопротивление постепенно нормализуется до исходного значения. Скорость реакции и обратимость будут варьироваться в зависимости от модели датчика и используемого газа.

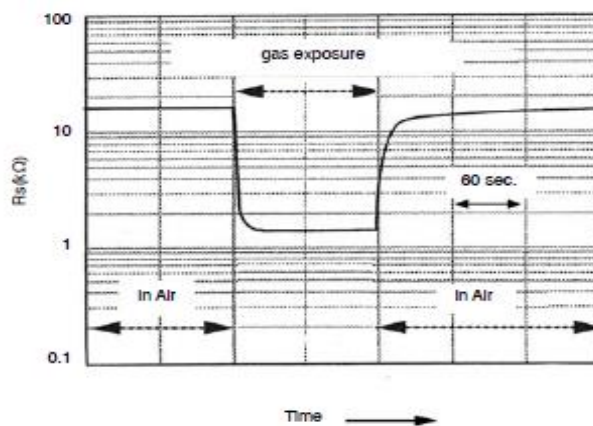


Рисунок 7 - Типичный отклик датчика

Начальное действие

На рисунке 8 датчики демонстрируют переходное поведение, называемое «начальным действием», когда они хранятся без питания, а затем под напряжением в воздухе. R_s резко падает в течение первых нескольких секунд после подачи питания, независимо от присутствия газов, и затем достигает стабильного уровня в соответствии с атмосферой окружающей среды. Продолжительность первоначального действия зависит от атмосферных условий при хранении, продолжительности хранения и от модели датчика. Это поведение следует учитывать при проектировании схемы, поскольку оно может вызвать активацию тревоги в течение первых нескольких моментов подачи питания [6].

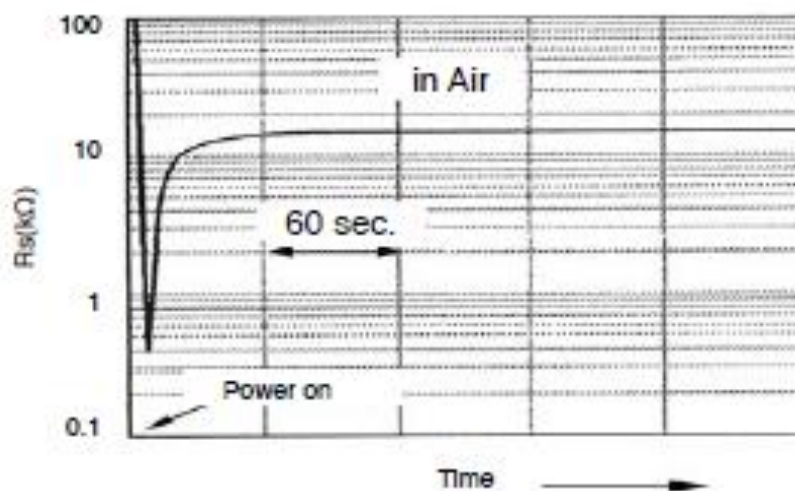


Рисунок 8 - Начальное действие

Зависимость от температуры и влажности

Принцип обнаружения датчиков TGS основан на химической адсорбции и десорбции газов на поверхности датчика. В результате температура окружающей среды будет влиять на характеристики чувствительности, изменяя скорость химической реакции. Кроме того, влажность вызывает уменьшение R_s , поскольку водяной пар адсорбируется на поверхности датчика.

На рисунке 9 показан типичный пример этих зависимостей. При использо-

вании датчиков TGS следует учитывать схему компенсации зависимости от температуры.

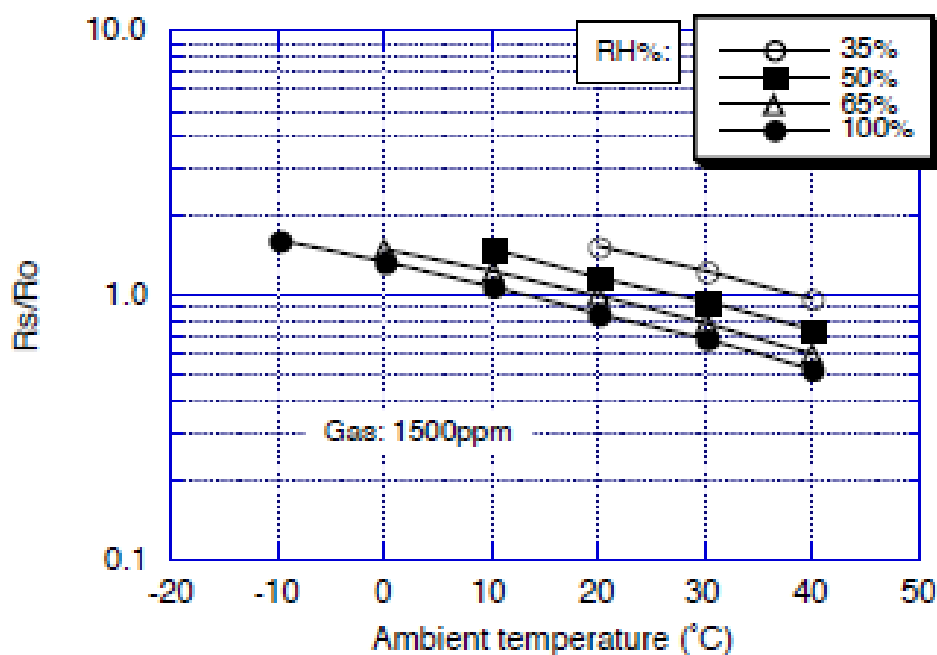


Рисунок 9 - График зависимости от температуры и влажности

Долгосрочная стабильность

На рисунке 10 показаны типичные данные долгосрочной стабильности для датчиков серии TGS. Как правило, датчики TGS показывают стабильные характеристики с течением времени, что делает их пригодными для работы без технического обслуживания.

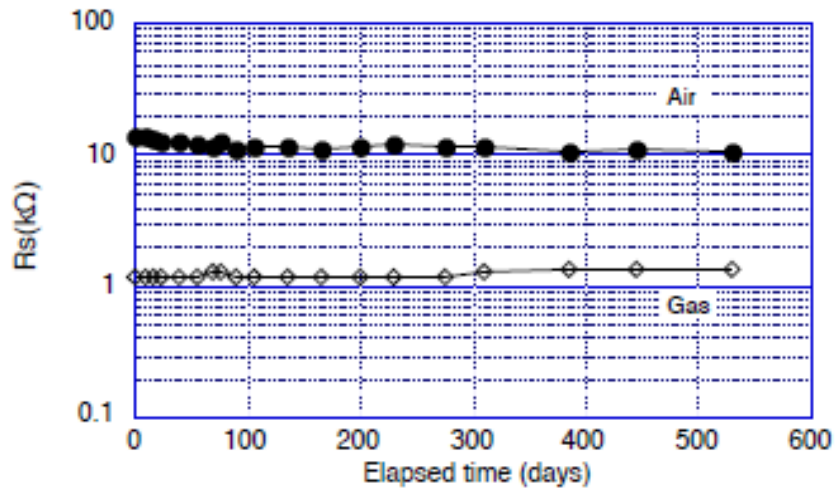


Рисунок 10 - Долгосрочная стабильность

Зависимость напряжения нагревателя

Датчики TGS предназначены для показа оптимальных характеристик чувствительности при определенном постоянном напряжении нагревателя.

На рисунке 11 показан типичный пример того, как чувствительность газа изменяется в зависимости от напряжения нагревателя. Поскольку датчик имеет зависимость напряжения нагревателя, постоянное регулируемое напряжение нагревателя должно подаваться на датчик в соответствии со спецификациями.

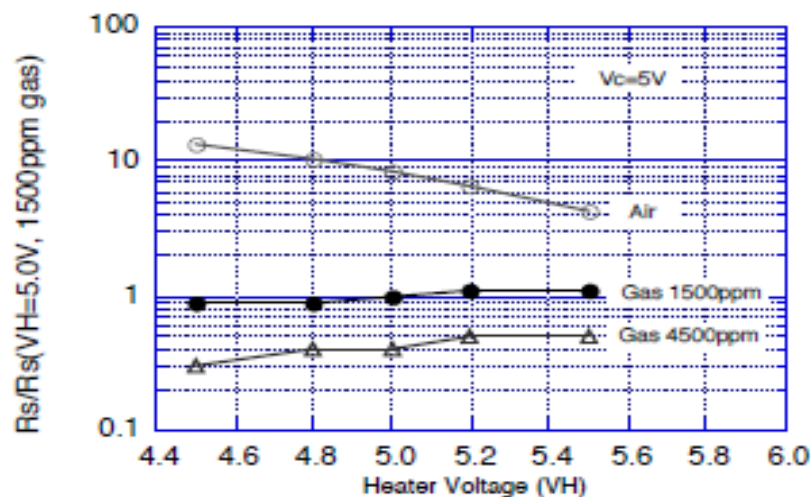


Рисунок 11 - График зависимости напряжения нагревателя

2.1.3 Ассортимент товаров компании Figaro

Японская фирма Figaro предоставляет следующий спектр товаров:

- датчики, определяющие уровень концентрации различных типов газов, таких как: кислород, метан, пропан, углекислый газ, пары бензина, алкоголя и многие другие;
- приборы, предназначенные для калибровки этих датчиков;
- устройства, измеряющие содержание газа в окружающем воздухе, с микропроцессором для обработки данных.

Конструктивные особенности:

- чувствительный элемент изготовлен на основе оксида олова с использованием поверхностных эффектов мелкозернистой структуры;
- датчики серии 2000 созданы по новой технологии с более низким напряжением питания и уменьшенной потребляемой мощностью нагревательного элемента;
- простая схема подключения.

На рисунке 12 приведены разновидности датчиков от компании Figaro с возможным их применением.

Наименование	Газ, содержание газовой примеси в окружающей среде (ppm = 10 ⁻⁶)	Калибровочные и измерительные модули	Применение
TGS842, TGS2611 TGS813, TGS2610 TGS821, TGS2620 TGS813, TGS2610	Взрывоопасные газы - метан (500-10000 ppm) - пропан (500-10000 ppm) - водород (50-1000 ppm)	NGM2611 (калибр.) LPM2610 (калибр.)	Детекторы утечки газа в домах, гаражах, офисных и промышл. помещениях. Портативные детекторы утечки газа
TGS3870	- метан + угарный газ (метан 500-2 500 ppm CO 50-1 000 ppm)	-	Противопожарные системы
TGS203, TGS2442 TGS826 TGS825	Токсичные газы - угарный газ (50-1000 ppm) - аммиак (30-300 ppm) - сероводород (5-100 ppm)	COM2442 (измер.)	Системы противопож. безопасн. Детекторы утечки аммиака в холодильных установках. Портативные газоанализаторы
TGS2104, TGS2201 TGS2106, TGS2201	Выхлопные газы - бензина (10-100 ppm) - дизельного топлива (0.1-1 ppm)	-	Системы контроля вентиляции салона автомобиля
TGS822, TGS2620	Алкоголь (50-5000 ppm)	-	Промышленные, бытовые и медиц. детекторы алкоголя
TGS822, TGS2620	Органические растворители (50-5000 ppm)	-	Анализаторы для химисток и предприятий, производящих изделия органической химии
TGS830, TGS831 TGS832	Хладагенты - R-22 (100-3000 ppm) - R-134a (100-3000 ppm)	-	Детекторы утечки хладагента в холодильных установках, кондиционерах
TGS880, TGS2181 TGS883T, TGS2180	Пищевые испарения - алкоголь (10-1000 ppm) - водяной пар (1-150 г/м ³)	-	Микроволновые печи
TGS4160, TGS800, TGS2100, TGS2600, TGS2602	Контроль состояния воздуха - углекислый газ (300-5000 ppm) - загрязнители воздуха (<10 ppm)	AM-4 (измер.) AMS800 (калибр.), AM-1-800 (измер.) AMS2100 (калибр.), AM-1-2100 (измер.) AMS2600 (калибр.), AM-1-2600 (измер.)	Воздухоочистители, кондиционеры, в т.ч. автомобильные, системы вентиляции
KE-25, KE-50	Кислород (0-100%)	-	Кислородные детекторы

Рисунок 12 - Разновидности датчиков от компании Figaro

На рисунке 13 изображены технические характеристики некоторых датчиков компании Figaro.

Параметры	Серия TGS8xx		Серия TGS2xxx	
Напряжение, подаваемое на нагреват. элемент (НЭ)	5 В ± 0.2 В (перем./пост. тока)		5 В ± 0.2 В (перем./пост. тока)	
Ток через НЭ	132 мА - 200 мА		42 мА - 203 мА	
Напряжение питания	≤ 24 В (перем./пост. тока)		5 В ± 0.2 В (пост. тока)	
Нагрузка	Подстроечный резистор		Подстроечный резистор	
Потребляемая мощность	≤ 15 мВт		≤ 15 мВт	

Параметры	KE-25	KE-50	Параметры	TGS4160	TGS4161
Диапазон концентраций	0 - 100 %		Диапазон концентраций	300 - 5000 ppm	350 - 5000 ppm
Точность	1%	2%	Напряжение, подаваемое на нагревательный элемент (VH)	5.0 В пост. тока	5.0 В пост. тока
Задержка отклика (90%)	12 с	60 с	Ток через нагревательный элемент	~ 250 мА	~ 50 мА
Срок службы	5 лет	10 лет	Сопrotивление нагревательного элемента (комн. т-ра) (RH)	11.5, ±1.1 Ом	70, ±7 Ом
Диапазон рабочих температур	+5 ... +40°C		Потребляемая мощность нагревательного элемента	~1.25 Вт	~0.25 Вт
Давление воздуха	0.5 - 1.5 атм		Время отклика	2 мин	1.5 мин
			Рабочие условия окружающей среды	-10...+50°C, отн. влажн. до 95%	-10...+50°C, отн. влажн. до 95%

Рисунок 13 - Технические характеристики некоторых датчиков компании Figaro

2.2 Датчики газа Synkera

На рисунке 14 изображены датчики газа от компании Synkera.



Рисунок 14 - Датчики газа от компании Synkera

Создание газоанализаторов — задача не из легких. С одной стороны, хочется добиться наивысшей чувствительности датчика, с другой — нельзя забывать о массогабаритных показателях всего устройства в целом. Компании Synkera удалось добиться неплохих результатов в производстве датчиков такого типа.

Synkera Technologies разрабатывает, производит и продает инновационные устройства, основанные на сочетании микро- и нанотехнологии. Ключевым направлением деятельности компании являются химические датчики.

Фирма предоставляет металлооксидные и полимерные датчики, которые являются недорогим, прочным и надежным вариантом для обнаружения пороговых значений различных токсичных и легковоспламеняющихся газов. Эти датчики основаны на технологии NanoMOS (Metal Oxide Sensors). Датчики имеют одни из лучших показателей чувствительности, стабильности и селективности, чем конкурирующие устройства.

2.2.1 Принцип действия

Synkera производит твердотельные датчики, которые в качестве чувствительного элемента используют наноструктуру из оксида алюминия (рисунок 15). В процессе создания датчика на керамическом термоизолированном основании формируется слой оксида алюминия толщиной 15...35 мкм.

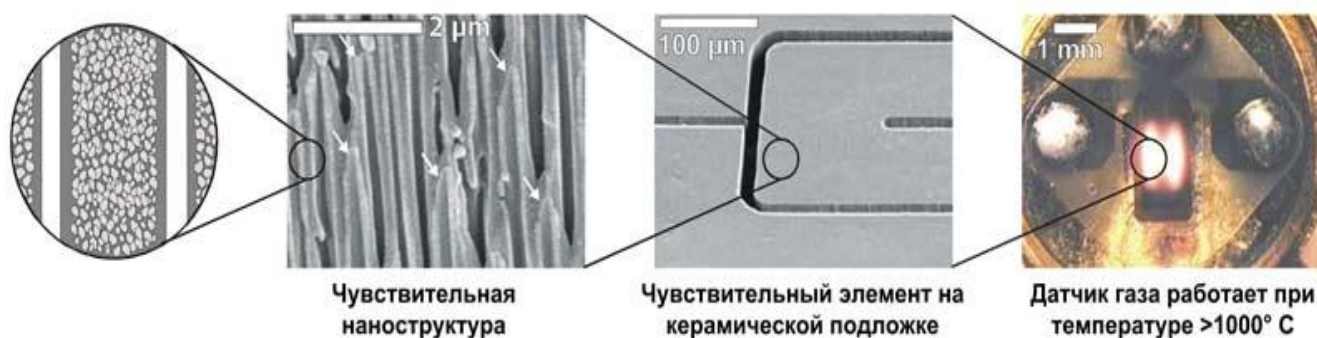


Рисунок 15 - Структура поверхности датчика

Чувствительный слой находится на керамическом термоизолированном основании. Оно может разогреваться с помощью дополнительного нагревателя. В качестве нагревателя выступает термистор – низкоомный резистивный слой.

Принцип действия данной конструкции достаточно прост и понятен. Сперва чувствительная поверхность разогревается до определенной температуры. Температура, до которой необходимо нагреть поверхность зависит от типа газовой примеси. При попадании молекул анализируемого газа на поверхность датчика, происходит высвобождение носителей электрического заряда (электронов или дырок). Сопротивление слоя оксида алюминия будет изменяться в зависимости от концентрации примесей. Если концентрация газа высокая, то сопротивление падает и наоборот, чем ниже концентрация, тем выше сопротивление. Измерив это сопротивление, можно проанализировать состояние окружающего воздуха и примесей в нем.

За счет большой удельной площади пористой поверхности достигаются

минимальные размеры чувствительных элементов. Так как размеры этих элементов очень малы, соответственно для их нагрева требуется значительно меньше энергии, потребляемой нагревателем, что позволяет нам неплохо сэкономить. В некоторых датчиках необходимо производить, нагрев чувствительного элемента до 1000°C. Из этого следует, что чем меньше датчик, тем меньше тратится энергии для его разогрева. Также сокращается время разогрева. Экономия времени — это очередной плюс в копилку фирмы Synkera. Все вышеперечисленные процессы — закономерны.

2.2.2 Характеристики датчика

Даже при снижении мощности разогрева, чувствительность датчиков UltraKera остается одной из лучших на рынке производства газоанализаторов (рисунок 16). Например, для ProKera707 значение R_a/R_{500} составляет не менее 15, тот же показатель UltraKera731 оказывается не менее 10.

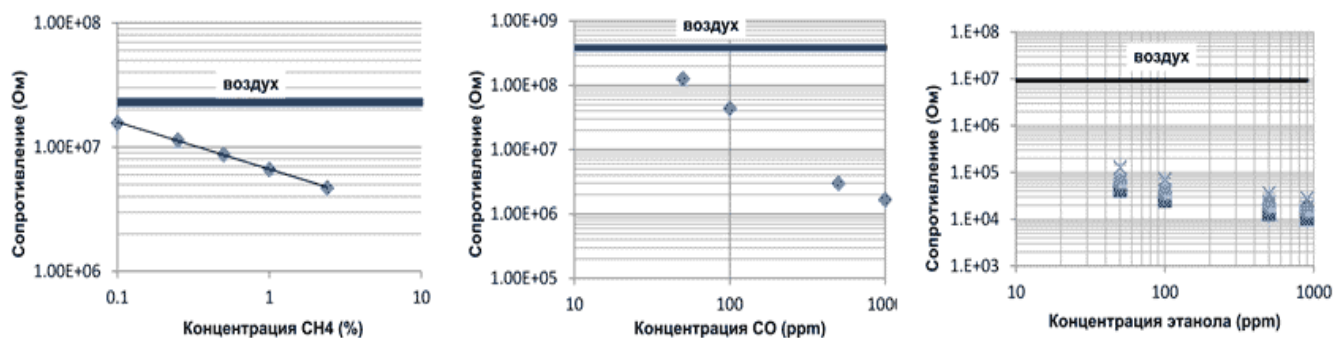


Рисунок 16 - График чувствительности датчиков UltraKera

UltraKera имеют конкурентоспособные показатели по избирательности. К примеру, содержание примесей пропана, угарного газа и интересующего нас сероводорода, не очень сильно сказывается на показаниях датчика метана UltraKera729. Но все же, при покупке подходящего сенсора об этом параметре не стоит забывать.

Одним из немаловажных преимуществ датчиков от компании Synkera является быстрый выход на рабочий режим. Так как размеры датчиков очень малы, соответственно для их разогрева требуется минимум расхода энергии. Датчик достигает рабочей точки всего за 0.2с. Из этого следует, что весьма необязательно постоянно нагревать сенсор. Сенсор можно использовать в импульсном режиме. Это позволит значительно снизить потери мощности.

На рисунке 17 изображен график нагрева и охлаждения датчиков семейства UltraKera.

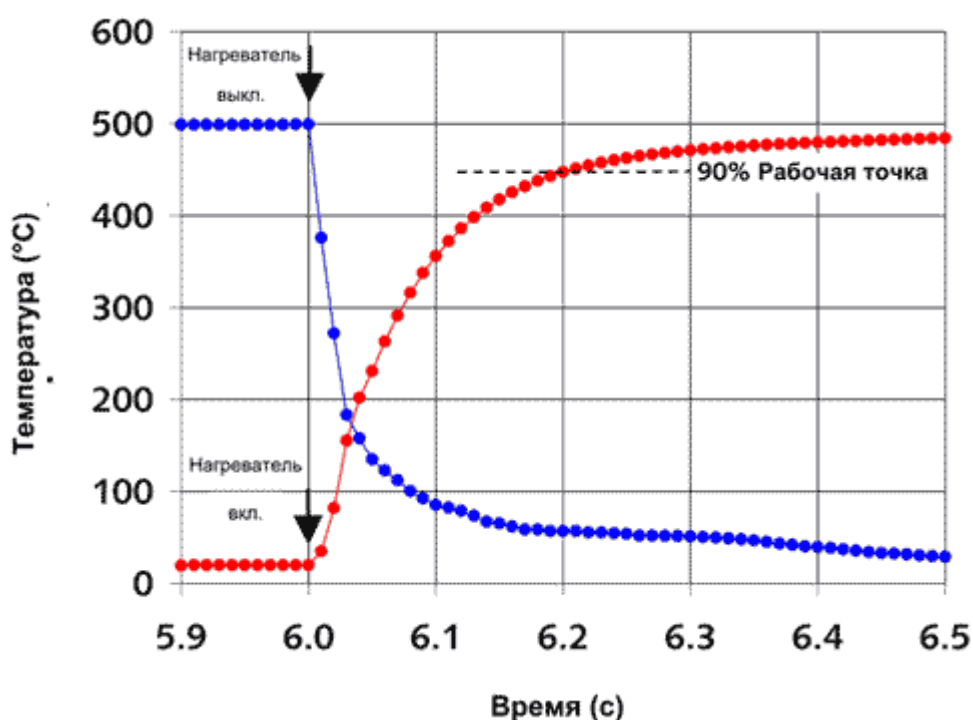


Рисунок 17 - График нагрева и охлаждения датчиков UltraKera

2.2.3 Ассортимент товаров компании Synkera

Семейство ProKera™ – первое семейство твердотельных газовых датчиков, выпускаемое с 2003 года.

Оно объединяет следующих представителей:

- а) 701 и 703 – датчики водорода;

- б) 705 – датчик аммиака;
- в) 706 – датчик оксидов азота;
- г) 707 – датчик органических газов;
- д) 711 – датчик горючих газов (метан, пропан);
- е) 714 – датчик сероводорода.

Семейство MikroKera™ 4L – следующий этап развития датчиков Synkera. Представители MikroKera отличаются еще более низким потреблением.

Семейство объединяет следующие сенсоры:

- а) 724 – датчик водорода;
- б) 725 – датчик органических газов;
- с) 726 – датчик хлора;
- д) 727 – датчик сероводорода.

Семейство UltraKera™ TO – наиболее совершенное семейство, с уровнем потребления менее 100 мВт и минимальным временем отклика.

Объединяет в себе датчики четырех типов:

- а) 729 – датчик метана;
- б) 730 – датчик угарного газа;
- с) 731 – датчик органических газов;
- д) 732 – датчик сероводорода.

2.3 Итоги сравнения двух фирм Figaro и Synkera

Проведем промежуточные итоги сравнения двух фирм, заполонивших рынок производства газоанализаторов своими устройствами, выделяющимися из всех устройств иных фирм своими уникальными особенностями, не повлиявшими на качество и рост цены продукта.

Несмотря на то, что принцип построения датчиков, производящих газоанализ практически везде один и тот же, компании Synkera удалось достигнуть невероятных малых размеров своих изделий, что позволило моментально выводить

устройство в рабочий режим, предварительно не уделяя времени на разогрев. Еще одной интересной особенностью датчика от компании Synkera стало то, что в качестве нагревательного элемента был задействован термистор. Это означает, что при измерении сопротивления можно контролировать температуру нагрева.

Преимуществом датчиков от компании Figaro стали их конструктивные особенности, а это простая схема подключения устройства; чувствительный элемент, изготовленный на основе оксида олова с использованием поверхностных эффектов мелкозернистой структуры.

Однако, есть и схожие черты, которых в превосходстве добились и японская фирма Figaro, и их американский конкурент Synkera, например, с каждым последующим поколением датчиков потребляемая энергия нагревательного элемента снизилась до минимальных значений, чувствительность приборов повысилась до такого уровня, что можно доверить им свою жизнь. Это не может не радовать. В конце концов кто знает, чем удивят в дальнейшем нас эти компании.

На рисунке 18 изображен Price list газоанализаторов от компании Synkera.

MikroKera 4L Gas Sensor Circuitry

		Pricing
P/N	Sensor	Each
915	Hydrogen	\$140
916	VOC	\$140
917	H2S	\$140

MikroKera 4L Gas Sensors

		Pricing				
P/N	Sensor	5 to 19	20 to 499	500 to 999	1000 to 4999	5000+
724	Hydrogen	\$48	\$40	\$32	\$28	call
725	VOC	\$48	\$40	\$32	\$28	call
726	Cl2	\$54	\$45	\$45	\$40	call
727	H2S	\$54	\$45	\$45	\$40	call

ProKera Gas Sensors

		Pricing				
P/N	Sensor	5 to 19	20 to 499	500 to 999	1000 to 4999	5000+
701	Trace Hydrogen	\$48	\$40	\$32	\$25	call
703	LEL Hydrogen	\$48	\$40	\$32	\$25	call
705	Ammonia	\$54	\$45	\$36	\$28	call
706	NOx	\$54	\$45	\$36	\$28	call
707	VOC	\$48	\$40	\$32	\$25	call
711	Flammable Gas	\$48	\$40	\$32	\$25	call
714	Hydrogen Sulfide	\$54	\$45	\$45	\$40	call

ProKera Gas Sensor Evaluation Circuitry

		Pricing
P/N	Sensor	Each
901	Trace Hydrogen	\$140
902	NOx	\$155
904	LEL Hydrogen	\$140
905	VOC	\$140
906	Flammable Gas	\$140
907	Ammonia	\$155
908	Hydrogen Sulfide	\$140

Рисунок 18 – Price list

3 Проектирование устройства, реализующего измерение концентрации сероводорода в воздухе

3.1 Структурная схема устройства

В настоящее время многие газоанализаторы построены с помощью одного и того же принципа прямого преобразования с разомкнутой структурной схемой, в которой все преобразования от входной измеряемой величины X до выходной Y имеют одно направление: от входа к выходу газоанализирующего устройства.

Этот путь представляют следующие устройства:

- устройство пробоподготовки УПП;
- измерительный преобразователь ИП;
- устройство обработки информации УОИ;
- выходной прибор ВП.

УПП предназначены для забора, транспортирования, очистки, осушки, прокачки анализируемой смеси через измерительные камеры ИП, а также стабилизации (при необходимости) ее температуры T , давления P , расхода Q , потребляемой мощности W и других параметров.

ИП осуществляет преобразование параметров, характеризующих состояние газа, в электрический, пневматический (или другой вид) информационный сигнал.

УОИ обрабатывает поступающий из ИП сигнал, выделяя требуемую информацию в аналоговом YB или цифровом YH виде.

ВП представляет полученную в УОИ информацию в удобном для использования виде (например, в виде массовой концентрации или объемной доли компонента анализируемой смеси).

На рисунке 19 представлена структурная схема газоанализатора.

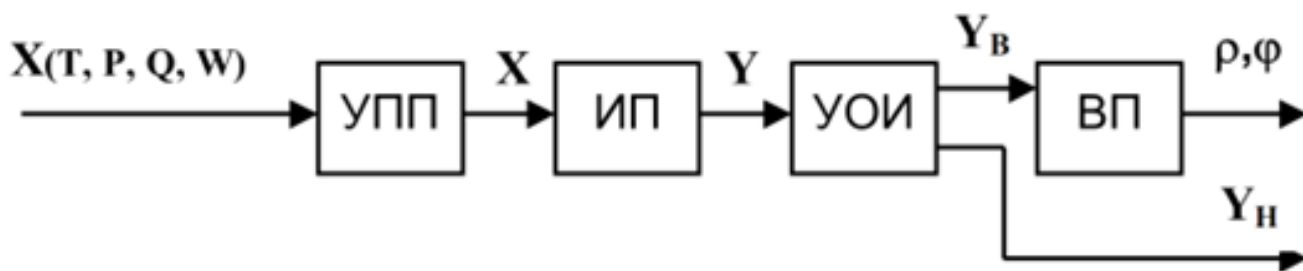


Рисунок 19 - Обобщенная структурная схема газоанализатора

3.2 Принципиальная схема устройства

Нагрузочный резистор (RL)

Выходной сигнал получается через RL, который также выполняет функцию защиты датчика, регулируя потребляемую мощность (P_s) ниже номинального значения датчика. Правильный выбор RL для отдельного датчика позволяет датчику обеспечивать однородные характеристики, чтобы пользователи могли применять датчик с наилучшими характеристиками [9].

На рисунке 20 показаны типичные характеристики чувствительности датчика. На рисунке 21 показана зависимость концентрации газа от выходного напряжения (V_{RL}), когда датчик используется в цепи (показанной на рисунке 23), а также различные значения RL (5 кОм, 2,5 кОм, 1 кОм). На рисунке 22 показана взаимосвязь между R_s/RL и V_{RL}/V_c . В точке, где R_s/RL равно 1,0, наклон V_{RL}/V_c достигает своего максимума. В этот момент может быть получено оптимальное разрешение сигнала при концентрации тревоги. В результате рекомендуется использовать RL, значение R_s/RL которого равно 1,0 при концентрации, подлежащей обнаружению. Переменный резистор (RL) рекомендуется для оптимальных результатов.

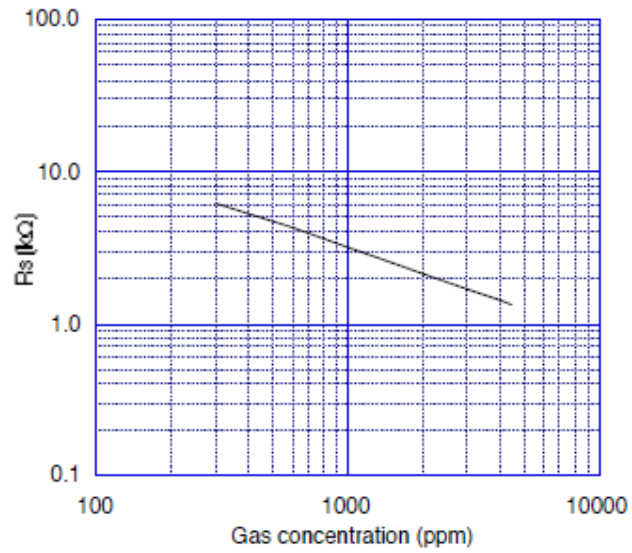


Рисунок 20 - Характеристики чувствительности (R_s)

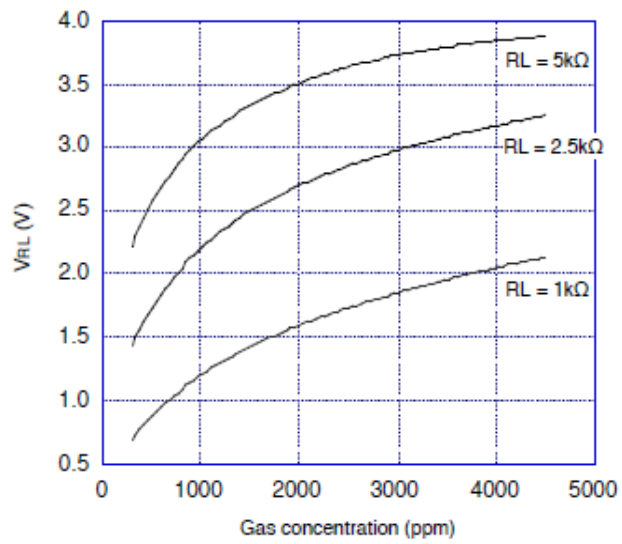


Рисунок 21 – Характеристики чувствительности (V_{RL})

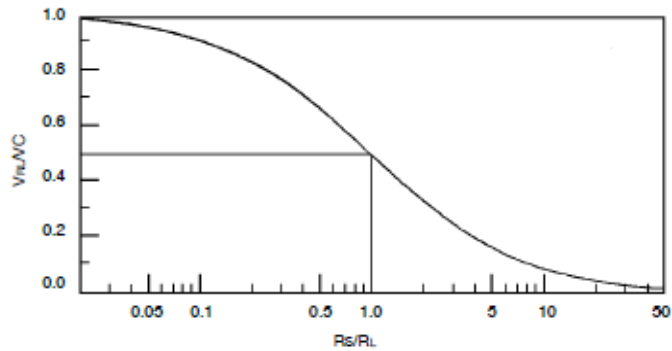


Рисунок 22 – Отношения между R_s/R_L и V_{RL}/V_c

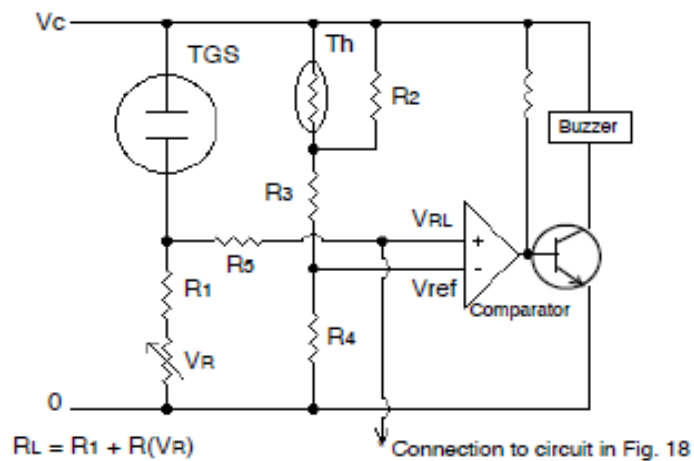


Рисунок 23 – Обычная схема для температурной компенсации

Обработка сигналов

Обычный способ обработки выходного сигнала заключается в использовании компаратора, как показано на рисунке 23. Когда V_{RL} превышает предварительно установленное значение (V_{ref}), сигнал компаратора активирует внешнее оборудование, такое как зуммер или светодиодная лампа.

Использование микропроцессора становится все более популярным для обработки сигналов. Микропроцессоры обычно используются и недороги, и они могут выполнять ту же функцию, что и компаратор, в дополнение к другим полезным функциям, таким как компенсация температурной зависимости, автокалибровка и т.д.

Пусковой ток нагревателя

Материал нагревателя датчика имеет свою температурную зависимость. На рисунке 24 изображены пусковой ток и устойчивое состояние тока нагревателя при различных температурах окружающей среды. Эта диаграмма показывает, что пусковой ток примерно на 50% выше, чем ток установившегося режима. Поскольку сопротивление нагревателя при низких температурах ниже, это может привести к превышению ожидаемого тока при комнатной температуре. В результате, когда устройство, использующее датчик, впервые включается, в течение первых нескольких моментов подачи питания может генерироваться чрезвычайно высокий ток. Чтобы обеспечить достаточную мощность источника питания для пускового тока, максимальный пусковой ток должен учитываться при проектировании цепи питания и при выборе компонентов для источника питания.

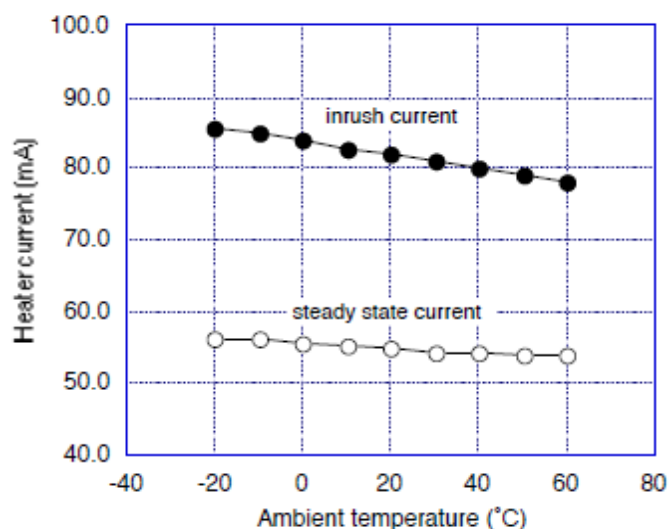


Рисунок 24 – Зависимость температуры нагревателя от температуры окружающей среды

Схема обнаружения поломки нагревателя датчика

Обрыв нагревателя датчика можно обнаружить с помощью резистора, подключенного к нагревателю последовательно. Для этого можно использовать напряжение на подключенном резисторе [10].

Предотвращение начального действия от активации тревоги

Как описывалось в определении начального действия, R_s резко падает в течение первых нескольких секунд после подачи питания, в результате чего VRL превышает V_{ref} , независимо от присутствия газов, а затем движется к стабильному уровню в соответствии с окружающей атмосферой (начальное действие) [8]. Так как это поведение во время процесса разогрева, вероятно, активирует сигнал тревоги в течение первых нескольких моментов подачи питания, чтобы предотвратить первоначальное действие, чтобы активировать сигнал тревоги, следует использовать схему, показанную на рисунке 25. Эта цепь должна быть подключена к VRL в цепи датчика (см. рисунок 23).

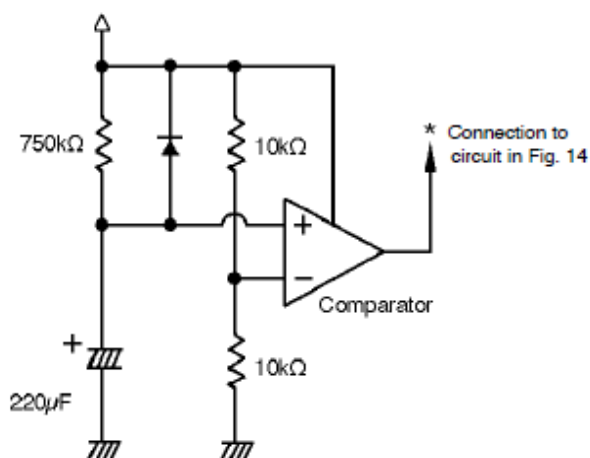


Fig. 18 - Prevention of alarm activation due to initial action

Рисунок 25 - Участок цепи, отвечающий за предотвращение активации тревоги из-за первоначального действия

Итоговая схема подключения датчика газа будет иметь вид, как изображено на рисунке 26. В этой схеме при повышении концентрации газа сопротивление датчика уменьшается, а напряжение на резисторе R_L увеличивается. При определенном напряжении компаратор срабатывает, и включается сигнал оповещения. Благодаря включению термистора, работа датчика не зависит от температуры окружающей среды. Изменением сопротивления резистора R_L схему можно настроить на требуемую концентрацию газа.

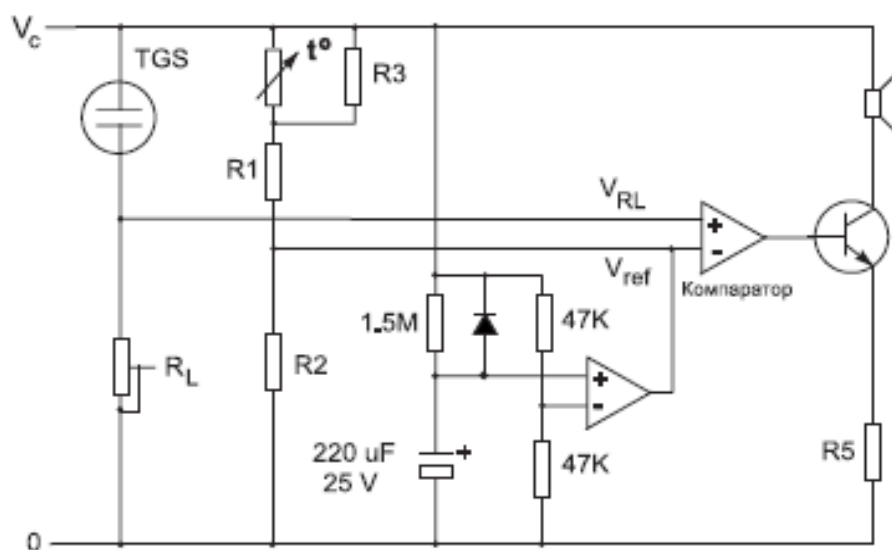


Рисунок 26 - Типичная схема подключения датчика газа

На рисунке 27 мы можем наблюдать типичное поведение датчика, работающего в чистом сухом газе. На графике мы отчетливо видим, что чем выше концентрация, тем ниже сопротивление датчика [7].

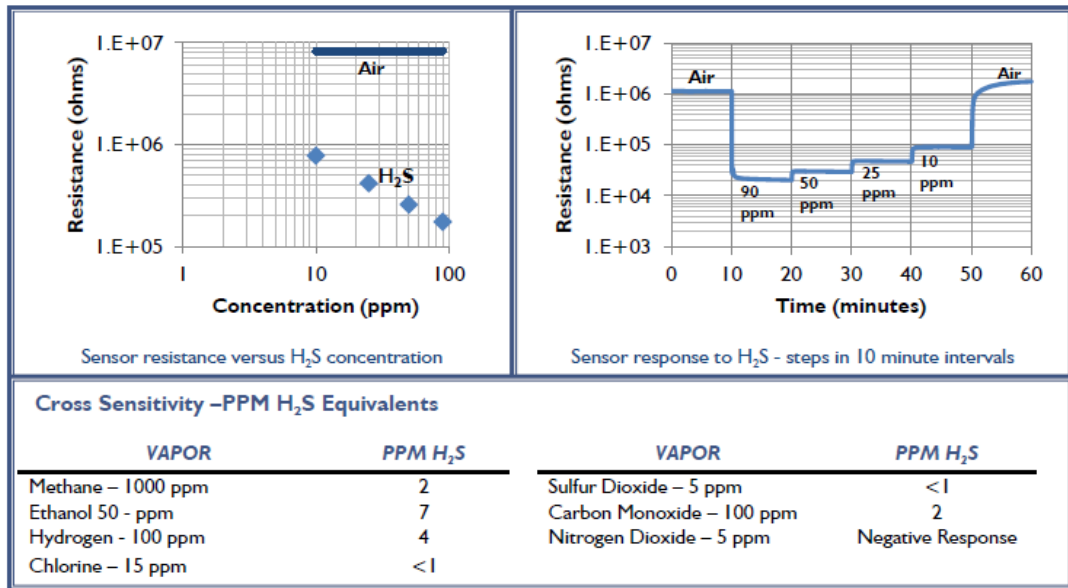
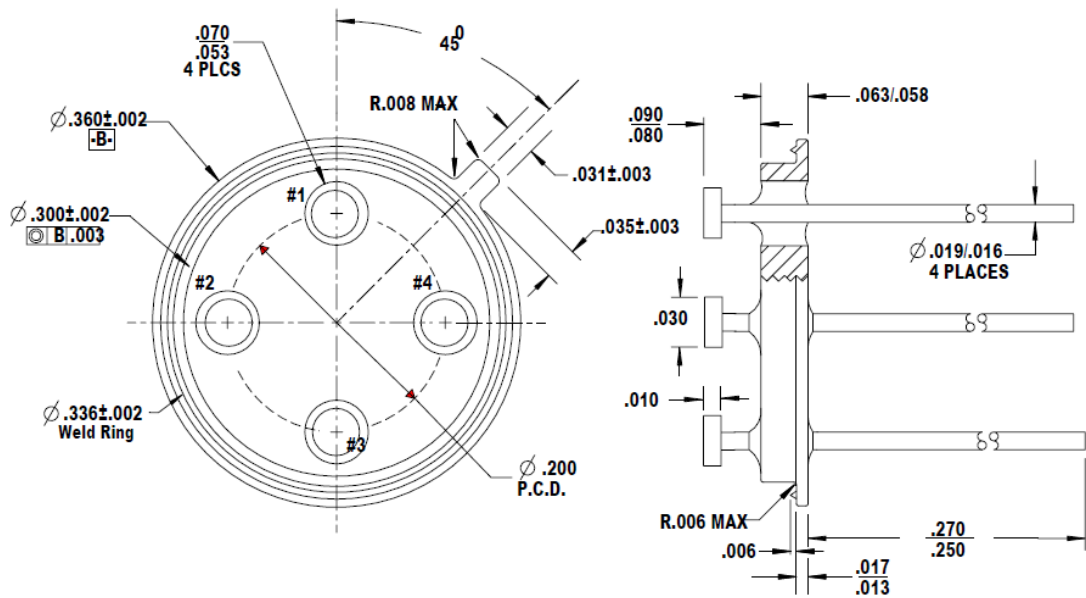


Рисунок 27 – Реакция датчика на шаги H₂S с 10 - минутными интервалами

Так же хотелось бы указать габаритные размеры прибора. На рисунке 28 изображен газоанализатор с его габаритными размерами.



Размеры в дюймах

Рисунок 28 - Габаритные размеры прибора

3.3 Меры предосторожности при использовании газовых датчиков

Ситуации, которых следует избегать

1) Воздействие силиконовых паров;

Если пары силикона адсорбируются на поверхности сенсора, чувствительный материал будет покрыт, что необратимо снижает чувствительность. Избегайте воздействия там, где могут присутствовать силиконовые клеи, материалы для ухода за волосами или силиконовая резина/замазка.

2) Сильно коррозионная среда;

Воздействие высокой плотности на коррозионные материалы, такие как H_2S , SO_x , Cl_2 , HCl и т.д. в течение продолжительного времени, может привести к коррозии или обрыву проводов.

3) Загрязнение щелочными металлами;

Смещение датчика может произойти, когда датчик загрязнен щелочными металлами, особенно брызгами соленой воды.

4) Контакт с водой;

Смещение датчика может произойти из-за замачивания или забрызгивания датчика водой.

5) Замораживание;

Если вода замерзает на чувствительной поверхности, чувствительный материал трескается.

6) Избыточное напряжение;

Если к датчику или нагревателю приложено напряжение выше указанного, это может привести к повреждению проводов и нагревателя или ухудшить характеристики датчика, даже если не произойдет физического повреждения или поломки.

7) Работа в среде с нулевым / низким содержанием кислорода.

Датчики требуют присутствия около 21% (окружающего) кислорода в их рабочей среде, чтобы нормально функционировать.

Ситуации, которых следует избегать, когда это возможно

1) Конденсация воды;

Легкая конденсация в условиях внутреннего использования не должна создавать проблем для работы датчика. Однако, если вода конденсируется на поверхности датчика и остается в течение длительного периода времени, характеристики датчика могут ухудшиться.

2) Использование датчика в высокой плотности газа;

На работу датчика может повлиять длительное время воздействие высокой плотности газа, независимо от условий питания.

3) Хранение в течение длительных периодов;

При длительном хранении без питания датчик может показывать обратимое отклонение сопротивления в соответствии с окружающей средой, в которой он хранился. Датчик следует хранить в запечатанном пакете с чистым воздухом. Обратите внимание, что по мере того как хранение без питания становится длиннее, требуется более длительный период предварительного нагрева для стабилизации датчика перед использованием.

4) Долгосрочное воздействие в неблагоприятной окружающей среде;

Независимо от состояния электропитания, если датчик подвергается воздействию экстремальных условий, таких как очень высокая влажность, экстремальные температуры или высокие уровни загрязнения в течение длительного периода времени, производительность датчика будет ухудшаться.

5) Вибрация;

Чрезмерная вибрация может вызвать резонанс и обрыв датчика или проводов.

6) Шок

Обрыв провода может возникнуть, если датчик подвергается сильному удару [11].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проделанной мною работы были изучены методы построения газоанализаторов. Была разработана структурная схема устройства, по которой в дальнейшем строилась принципиальная схема. Я учел такие нюансы как предотвращение тревоги из-за начального действия датчика, регулировка температуры нагрева при помощи термистора, за счет которого температура окружающей среды практически не влияет на работу прибора в целом.

Несмотря на то, что существует достаточно много устройств производящих анализ окружающей атмосферы, обнаруживающих пороги концентраций различных типов газов, мною разработанное устройство для обнаружения концентрации сероводорода может послужить для совершенствования данного типа устройств. Устройство обладает миниатюрными размерами, простотой реализации, высокой чувствительностью и всеми необходимыми требованиями для датчиков такого типа.

Таким образом, результаты, полученные в ходе выполнения работы, могут быть использованы в качестве основы для проектирования более сложных газоанализирующих устройств.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1) Светлана Сысоева «Новые сенсорные решения. Выход на новый уровень измерений» с.61-с.62;
- 2) Кулаков М.В., Технологические измерения и приборы для химических производств, М., 1983;
- 3) Павленко В.А., Газоанализаторы, М. -Л., 1965;
- 4) Зубков М.В., Локтюхин В. Н., Совлуков А.С., "Датчики и измерительные преобразователи для контроля окружающей среды": учебное пособие; Рязан. гос. радиотехн. ун-т. Рязань, 2009;
- 5) Бублик. Г. Ф. (отв. Ред.) и др. "Приборостроение", Киев: Лыбедь, 1991;
- 6) Джесси Рассел «Газоанализатор».
- 7) Synkera_DataSheet_Micro_VOC_Sensor.
- 8) <http://ru.wikipedia.org/wiki/Газоанализатор>;
- 9) Приборостроение, 2002г., №3, с. 52-54.
- 10) Измерительная техника, 2004г., №6 с. 67-69.
- 11) Технический паспорт Сигнализатора дигидросульфида, руководство по эксплуатации 2004;
- 12) <http://каталог-статей.пф/oborudovanie/istoria-gazoanalizatora.html>
- 13) <https://energomatica.ru/istoriya-signalizatora-zagazovannosti.html>