|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  | |  | | ДОПУСКАЕТСЯ К ЗАЩИТЕ: | | | | | | | | | |
| **Факультет** | | И | | Заведующий кафедрой | | | | | |  |  | | |
|  | |  | |  | | | | | |  | шифр кафедры | | |
| **Кафедра** | | И1 | |  | | |  | |  | | | | |
|  | |  | | Фамилия И.О. | | |  | | подпись | | | | | |
| **Группа** | | \_\_И-631\_ | | «\_\_\_\_\_» | |  | | | | | | 2017 г. | |
|  |  | |  | |  | |  | | |  | | | | |



**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА**

|  |  |
| --- | --- |
| Попова Антона Владимировича | |
| Фамилия, имя, отчество обучающегося | |
| **На тему** | Разработка системы распознавания веществ в составе атмосферы |
| с использованием  многосенсорного анализа | |
|  | |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Направление подготовки** | И |  | Информационные и |
|  | индекс направления |  | полное наименование направления |
| управляющие системы | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Руководитель:** | | |  | | | | | | |
|  |  | | | подпись | | | | | | |
|  |  | | | | |  | | Чугреев А.В. | | |
|  | ученая степень, ученое звание | | | | | | Фамилия ИО | | | |
|  | « » |  |  | | | | | |  | 2017 г. |
|  | **Обучающийся:** | | | |  | | | | | |
|  |  | | | | |  | | Попов А.В. | | |
|  | подпись | | | | |  | | Фамилия ИО | | |
|  | « » |  |  | | | | | |  | 2017 г. |

**Содержание**

[Введение 3](#_Toc485072759)

[1 Условные обозначения 4](#_Toc485072760)

[2 Задачи разработки 5](#_Toc485072761)

[3 Нормы и химический состав чистого атмосферного воздуха и загрязнение атмосферы 7](#_Toc485072762)

[4 Оценка загрязнения 8](#_Toc485072763)

[5 Существующие методы распознавания веществ и его применения 10](#_Toc485072764)

[5.1. Анализаторы с использованием видимого и ультрафиолетового излучения 11](#_Toc485072765)

[5.2. Метод двухволнового дифференциального поглощения. 13](#_Toc485072766)

[6 Виды датчиков 14](#_Toc485072767)

[6.1. Электрохимические датчики 14](#_Toc485072768)

[6.2. Оптические или оптопары 15](#_Toc485072769)

[6.3. Терморезистивные термодатчики (RTD) 16](#_Toc485072770)

[6.4. Полупроводниковые датчики температуры 17](#_Toc485072771)

[6.5. Термоэлектрические (термопары) 19](#_Toc485072772)

[6.6. Акустические 19](#_Toc485072773)

[6.7. Пьезоэлектрические 20](#_Toc485072774)

[7 Влажности 20](#_Toc485072775)

[8 Классификация газоанализаторов. 21](#_Toc485072776)

[9 Современные датчики и их применение 23](#_Toc485072777)

[10 Детекторы запахов 24](#_Toc485072778)

[10.1. Биологический (естественный) детектор 26](#_Toc485072779)

[10.2. Детекторы газовой хромографии 26](#_Toc485072780)

[10.2.1. Детектор электронного захвата (ДЭЗ) 27](#_Toc485072781)

[10.2.2. Пламенно-ионизационный детектор (ДИП, ПИД) 28](#_Toc485072782)

[10.2.3. Термоионный детектор (TID, ТИД) 29](#_Toc485072783)

[10.2.4. Пламенно-фотометрический детектор (ПФД) 29](#_Toc485072784)

[10.2.5. Масс-селективный детектор (МСД) 30](#_Toc485072785)

[10.2.6. Атомно-эмиссионный детектор (АЭД) 31](#_Toc485072786)

[10.2.7. Гелий-ионизационный детектор (ГИД) 32](#_Toc485072787)

[10.2.8. Редокс-хемилюминесцентный детектор (РХД) 32](#_Toc485072788)

[10.2.9. Фотоионизационный детектор (ДФИ) 33](#_Toc485072789)

[11 Роль нейронных сетей в робототехнике и определении веществ 34](#_Toc485072790)

[11.1. Введение. Что такое нейронная сеть 34](#_Toc485072791)

[11.2. Развитие нейронной сети 35](#_Toc485072792)

[Практическая часть 37](#_Toc485072793)

[Заключение 39](#_Toc485072794)

[ПРИЛОЖЕНИЕ А 40](#_Toc485072795)

[ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДАТЧИКОВ 40](#_Toc485072796)

[1. Датчик 3E-CO 40](#_Toc485072797)

[2. Датчик TGS2611-E00 41](#_Toc485072798)

[3. Датчик TGS826 42](#_Toc485072799)

[4. Датчик MN-5 43](#_Toc485072800)

[5. Датчик 3E-NO2 44](#_Toc485072801)

[6. Датчик 3E-HCL 45](#_Toc485072802)

[7. Датчик 3E-HF 46](#_Toc485072803)

[Библиография 47](#_Toc485072804)

# Введение

Одно из наиболее важных для Земли применений газового анализа является анализ состава атмосферы как внешней, так и внутри помещений и сопутствующего её загрязнения.

Загрязнение воздуха может быть природным или искусственным.

Природное загрязнение вызвано извержением вулканов, пожарами, пылью, пыльцой и т.д., искусственное загрязнение в городских или промышленных районах вызвано не только за счет введения большого количества сторонних загрязнителей, но также и от атмосферных реакций, производящих новые виды загрязнителей. Хорошим примером этого является образование фотохимического смога в крупных городах, когда газы выделяемые транспортными средствами (СО, NO, NO2, несгоревшие углеводороды) взаимодействуют при определенных метеорологических условиях с производством ряда окислителей, включая озон и пероксиацилнитрат (PAN).

Большинство населения индустриального мира проводят свой день в зданиях на работе или дома. Мониторинг атмосферы внутри зданий (Внутренняя атмосфера) также имеет большое значение.

Внутренние атмосферы могут иметь более высокие концентрации загрязняющих газов, а также имеют гораздо более широкий диапазон загрязняющих веществ, чем во внешней атмосфере [[[1]](#endnote-1)].

Для контроля за атмосферой используются датчики, им посвящена большая часть работы.

Новейшие разработанные датчики имеют более высокую селективность, уменьшаются в размерах, более приспособлены к измерению

непосредственно в рабочем объеме. Некоторые из них могут заменить сложные и громоздкие газоанализаторы.

Датчики предназначены для получения, регистрации, обработки и передачи информации о состоянии различных систем:

* О физическом строении;
* химическом составе;
* форме;
* положении и динамике исследуемой системы.

Спектральные характеристики объекта непосредственно связаны с энергетической структурой веществ, входящих в его состав, и тем самым несут информацию о составе объекта, его структуре, состоянии и т.п. Расшифровка и интерпретация этих свойств, однако, представляет собой исключительно сложную задачу. В тоже время живые системы с успехом решают многие задачи этого типа.

# Условные обозначения

СУСД – система управления и сбора данных

МКВ – микроволновые;

ИК – инфракрасное излучение;

ДЛ – диодный лазер;

СДП - сигнал дифференциального поглощения;

# Задачи разработки

В данной работе мне предстоит создать автономную систему, позволяющую анализировать состав окружающего воздуха, выделять составляющие, чтобы можно было сделать вывод о пригодности атмосферы для дыхания, к примеру, на исследуемой планете или провести гигиеническую оценку качества воздуха в помещении.

Данная система (рис. 1) будет включать в себя:

* Несущая платформа с системой питания и охлаждения;
* Система анализа атмосферы;
* Система Управления и Сбора Данных;
* Система дистанционного управления.

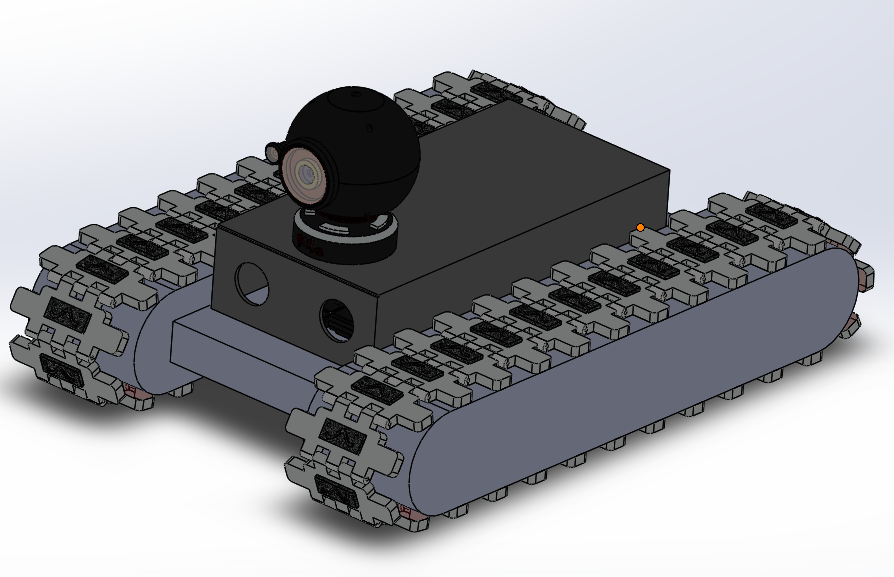


Рисунок 1– Общий вид системы

Ниже представлена структурная схема собираемой системы (рис. 2), на которой представлена совокупность приборов, расположенных внутри модуля.

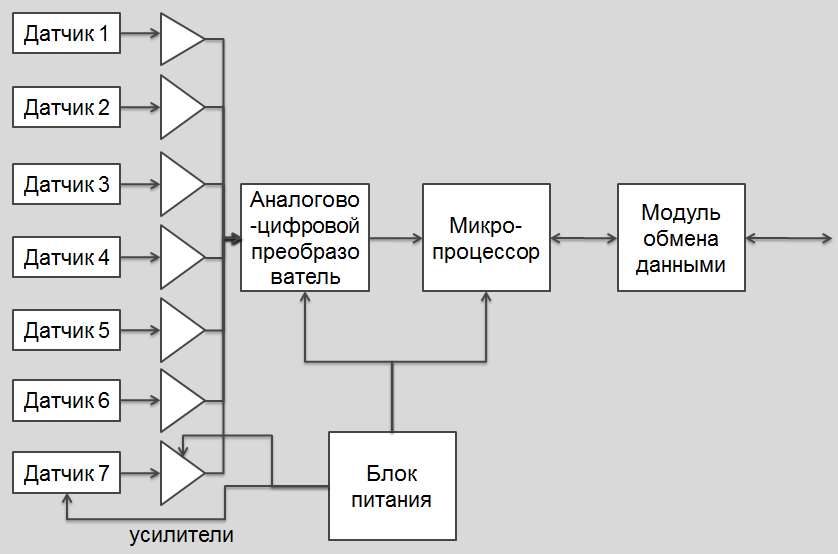


Рисунок 2– Структурная схема

# Нормы и химический состав чистого атмосферного воздуха и загрязнение атмосферы

Чистый атмосферный воздух у поверхности (рис. 4) Земли представляет собой физическую смесь различных газов: 78,1% азота, 20, 93% кислорода, 0,03-0,04% диоксида углерода и до 1% других инертных газов (аргон, неон, гелий, криптон, ксенон, радон, актинон, торон) [[[2]](#endnote-2)].

Атмосфера

Состав сухого воздуха:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Газ | Содержание по объему, % | Содержание по массе, % |
| Азот | 78,084 | 75,50 |
| Кислород | 20,946 | 23,10 |
| Аргон | 0,932 | 1,286 |
| Углекислый газ | 0,04 |  |
| Неон | 1,82·10−3 | 1,3·10−3 |
| Гелий | 4,6·10−4 | 7,2·10−5 |
| Метан | 1,7·10−4 |  |
| Криптон | 1,14·10−4 | 2,9·10−4 |
| Водород | 5·10−5 | 7,6·10−5 |
| Ксенон | 8,7·10−6 |  |
| Закись азота | 5·10−5 | 7,7·10−5 |

Содержание воды в виде паров колеблется от 0,2 % до 2,5 % по объёму, и зависит в основном от широты.

Рисунок 3 – Состав атмосферы

Смещение газового состав атмосферы в худшую сторону происходит в основном за счет поступления в воздух малых примесей, содержание которых в атмосфере во много раз меньше основных газов (азота и кислорода).

Приземный слой атмосферы (1-2 км высотой) содержит основное сосредоточение загрязнения, а в средних городах - в слое толщиной в сотни метров. Источники загрязнения атмосферы бывают природными или естественными (пыльные бури, извержение вулканов, лесные пожары, выветривание) и антропогенные или искусственные.

Загрязнения антропогенного характера являются постоянными «поставщиками» - промышленность, предприятия, транспорт, теплоэлектростанции, сельское хозяйство - эти поступления имеют непрекращающийся и нарастающий характер. Загрязнения атмосферного воздуха могут находиться в различных агрегатных состояниях: в виде твердых взвешенных частиц (аэрозолей), в виде пара, капель жидкости и газов. Наиболее часто в атмосферном воздухе встречаются: окись и двуокись углерода, окислы азота, окислы серы и другие соединения серы (сероводород, сероуглерод), углеводороды, альдегиды, озон, зола, сажа.

Основной вклад в загрязнение атмосферного воздуха на территории России вносят: теплоэнергетика (тепловые и атомные электростанции, промышленные и городские котельные и др.), далее предприятия черной металлургии, нефтедобычи и нефтехимии, автотранспорт, предприятия цветной металлургии и производство стройматериалов [[[3]](#endnote-3)].

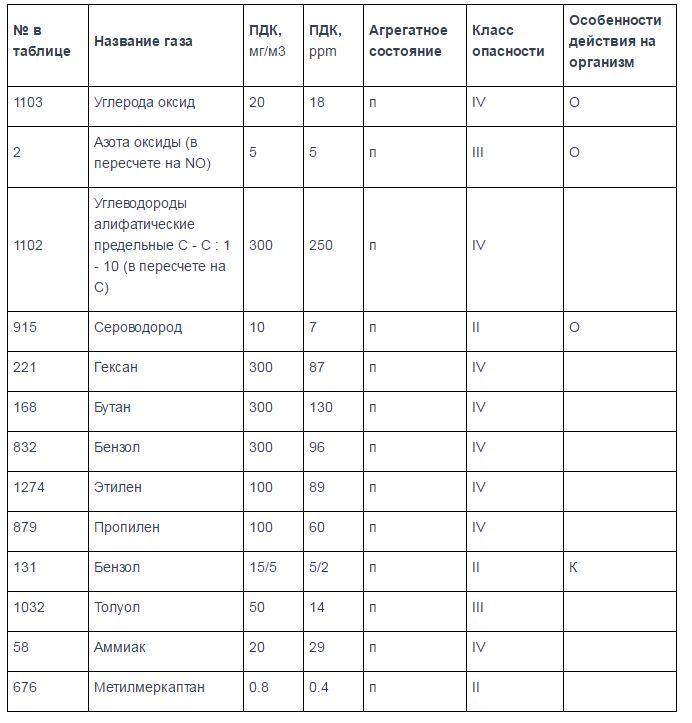
# Оценка загрязнения

Чтобы получить гигиеническую оценку степени загрязнения воздуха нужно сопоставить результаты анализов воздуха с предельно допустимыми концентрациями (ПДК) химических веществ в атмосферном воздухе.

Бывает разовая ПДК (ПДКмр) и среднесуточная ПДК (ПДКсс) химических веществ, а также аэрозолей для атмосферного воздуха и воздуха непроизводственных помещений. Максимальную разовую ПДК используют для оценки загрязнений атмосферы в период кратковременных подъемов концентраций, среднесуточную ПДК применяют в качестве гигиенического норматива при длительном поступлении атмосферных загрязнений в организм.

В данной работе мы будем рассматривать ПДК рабочей зоны (табл.1).

Таблица 1-Предельно допустимые концентрации химических веществ в рабочей зоне (извлечения из ГОСТ 12.1.005-88)



Атмосфераая кафесферырии

# Существующие методы распознавания веществ и его применения

Разработка моделей и алгоритмов процессов распознавания веществ предполагает применение современных численных методов решения обратных задач спектроскопии:

* методы линеаризации обратных задач;
* методы корреляционного анализа, регуляризации, поиска квазирешений.

Вдобавок используются методы цифровой фильтрации сигналов, компьютерного моделирования и визуализации. Задачи спектрального анализа решаются при помощи банков данных, содержащих спектроскопическую информацию в ИК области спектра для широкого круга веществ.

Достоверность и обоснованность полученных результатов обеспечивается: апробацией алгоритмов и программного комплекса в сериях вычислительных экспериментов; сопоставление результатов обработки данных лабораторных экспериментов, полученных с помощью альтернативных моделей распознавания веществ, а также с результатами, полученными на контрольно-измерительной аппаратуре; апробацией разработанных алгоритмов и программного комплекса в натурных экспериментах [[[4]](#endnote-4)].

Научное использование наземных измерений газового состава атмосферы:

* изучение интегральных содержаний различных газов и их вертикальных профилей;
* анализ пространственных и временных вариаций, климатология;
* долговременные тренды содержания атмосферных газов;
* изучение интенсивности источников и стоков газовых примесей;
* построение сценариев будущих содержаний различных газов для прогноза климата Земли;
* изучение динамики атмосферы посредством анализа пространственного распределения долгоживущих газов;
* исследования содержаний изотопических соотношений различных молекул и их источников;
* валидация спутниковых измерений газового состава атмосферы;
* проверку численных моделей атмосферы;
* уточнение характеристик поглощения различных газов.

# Анализаторы с использованием видимого и ультрафиолетового излучения

Принцип действия анализаторов с использованием видимого и УФ излучения заключается в монохроматизации пучка света, испускаемого лампой с помощью соответствующих фильтров.  
Есть приборы, где монохроматическое излучение разделено на два пучка, направленных на кювету, через которую продувается смесь анализируемых газов, и на другую кювету, содержащую газ сравнения (двухлучевой спектрометр). Интенсивности излучения на выходе детектируются и сравниваются с помощью фотоэлементов.  
В приборе другого типа (однолучевом спектрометре) пучок света направляется на кювету, через которую продувается смесь. После этой кюветы пучок света разделяется на два пучка, проходящие через два фильтра, один из которых дает излучение, поглощаемое анализируемым газом, а другой — не поглощаемое. Сопоставление интенсивностей этих потоков света осуществляется с помощью фотоэлементов.

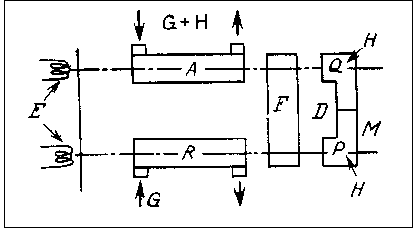
****

Рисунок 4 - Анализаторы, использующие ИК-излучение.

Дисперсионные или "монохроматизирующие" приборы используются для контроля процессов в промышленности очень редко; обычно используют недисперсионные приборы, т, е. приборы без спектрального разложения. Хотя селективность этих приборов ниже, однако при промышленном использовании они имеют ряд преимуществ, таких, как лучшая чувствительность, простота, надежность и меньшие эксплуатационные расходы.  
В варианте однолучевого прибора излучение от источника проходит через кювету с анализируемым газом, а затем — последовательно через два обращающих фильтра, что позволяет сопоставить с помощью детектора поглощение для двух длин волн — одной, соответствующей пику поглощения для анализируемого газа, и другой — отвечающей минимальному поглощению (последняя принята в качестве стандарта).

Анализаторы на основе двухлучевой схемы более распространены. Различают приборы двух основных типов:

* анализаторы с положительным фильтром;
* анализаторы с отрицательным фильтром.

Анализаторы с положительным фильтром снабжены рабочей кюветой А, через которую пропускается анализируемая газовая смесь (газ H, поглощающий в инфракрасной области спектра, и газ G, не поглощающий в этой области), и кюветой сравнения R, содержащей непоглощающий газ G. Кюветы изготавливаются из меди или из позолоченного либо посеребренного изнутри стекла. Они закрыты окнами, прозрачными для излучения (LiF, кварц, слюда, CaF2 и др.).

# Метод двухволнового дифференциального поглощения.

Идея метода основана на создании из двух ДЛ с разными длинами волн синтезированного источника модулированного излучения и использовании для детектирования сигнала дифференциального поглощения (СДП), т.е разностного сигнала поглощения пучков двух ДЛ, прошедших через среду.

Для осуществления модуляции лазеры поочередно включаются и выключаются путем подачи на них в противофазе прямоугольных импульсов тока, амплитуды которых превышают пороговые значения возникновения генерации. Такой источник излучения аналогичен обычному ДЛ при модуляции тока меандром[[5]](#footnote-1), за одним исключением: длины волн используемых ДЛ могут выбираться в широком спектральном диапазоне, существенно превышающем область генерации отдельного лазерного диода.

Немаловажно, что при практической реализации идеи лучи двух ДЛ должны максимально полно перекрываться в исследуемой среде, с тем, чтобы уменьшить ошибки, связанные с неоднородностями, краевыми эффектами и рассеянием. Применяемая система регистрации должна последовательно измерять сигналы поглощения обоих лучей и вычислять их разность. Существенно, что при регистрации СДП могут быть использованы разработанные ранее методы улучшения отношения сигнал/шум, такие как синхронное детектирование и логарифмическое вычитание измеряемого и референтного сигналов [[[6]](#endnote-5),[[7]](#endnote-6),[[8]](#endnote-7),[[9]](#endnote-8)].

# Виды датчиков

Датчики — это группа автономных, законченных изделий, предназначенных для преобразования собираемой (измеряемой) информации в электрическую величину для последующей передачи в измерительные, или исполнительные устройства. Особенностью применение датчиков являются размещение их непосредственно в месте отбора информации, что накладывает определенные требования к конструкции, особенно при использовании в агрессивных условиях среды, а также взаимосогласованные метрологические и надежностные характеристики.

# Электрохимические датчики

Электрохимические датчики бывают двух типов: с твердым и жидким электролитом.

Датчики содержат два или три электрода, иногда четыре, в контакте с электролитом. Электроды обычно изготавливают путем фиксации драгоценного металла с большой площадью поверхности на пористой гидрофобной мембране. Рабочий электрод связывается как с электролитом, так и с окружающим воздухом, который обычно контролируется через пористую мембрану. Наиболее часто используемым электролитом является минеральная кислота, но для некоторых датчиков также используются органические электролиты. Электроды и корпус обычно находятся в пластмассовом корпусе, который содержит отверстие для входа газа и электрических контактов.

Газ диффундирует в датчик, через заднюю часть пористой мембраны к рабочему электроду, где он окисленной или восстановленной. Эта электрохимическая реакция приводит к электрическому току, который проходит через внешнюю цепь. В дополнении к измерению, усиления и выполнения других функций обработки сигнала, внешняя цепь поддерживает напряжение на датчик между рабочим электродом и противоэлектродом для датчика два электрода или между рабочим и контрольными электродами для три электрода ячейки с. На противоположном электроде равная и противоположная реакция происходит, таким образом что, если рабочий электрод представляет собой окисление, а затем противоположный электрод является сокращением [[[10]](#endnote-9)].

# Оптические или оптопары

Оптопара или оптрон — электронный прибор, состоящий из излучателя света (обычно — светодиод, в ранних изделиях — миниатюрная лампа накаливания) и фотоприёмника (биполярных и полевых фототранзисторов, фотодиодов, фототиристоров, фоторезисторов), связанных оптическим каналом и, как правило, объединённых в общем корпусе. Принцип работы оптрона заключается в преобразовании электрического сигнала в свет, его передаче по оптическому каналу и последующем преобразовании обратно в электрический сигнал (рис. 7).

Классификация оптрон:

*По степени интеграции:*

* оптопары (или элементарные оптроны) — состоящие из двух и более элементов (в т. ч. собранные в одном корпусе);
* оптоэлектронные интегральные схемы, содержащие одну или несколько оптопар (с дополнительными компонентами, например, усилителями, или без них).

*По типу оптического канала:*

* с открытым оптическим каналом;
* с закрытым оптическим каналом.

*По типу фотоприёмника:*

* с фоторезистором (резисторные оптопары);
* с фотодиодом;
* с биполярным (обычным или составным) фототранзистором;
* с фотогальваническим генератором (солнечной батарейкой); такие оптроны обычно снабжаются обычным полевым транзистором, затвором которого управляет фотогальванический генератор;
* с фототиристором или фотосимистором.

*По типу источников света:*

* с миниатюрной лампой накаливания;
* с неоновой лампой;
* со светодиодом.

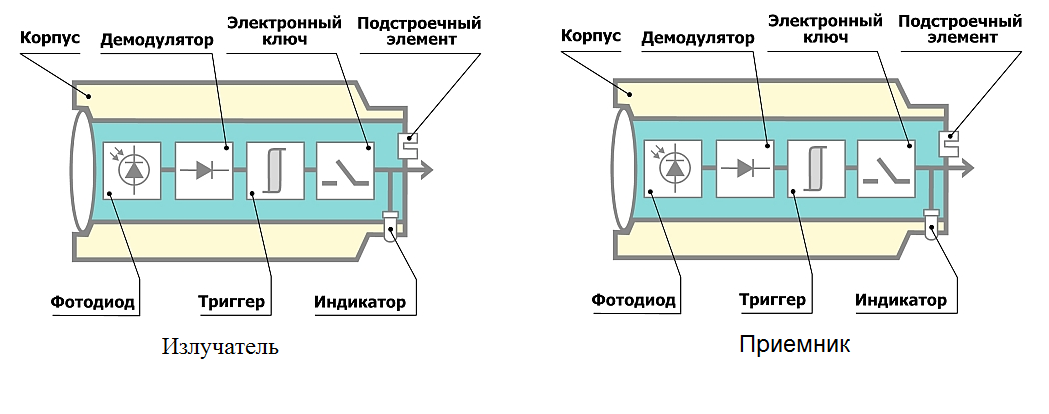


Рисунок 5 – Принцип оптического датчика

# Терморезистивные термодатчики (RTD)

RTD - или датчики температуры сопротивления - являются датчиками температуры, которые содержат резистор, который изменяет значение сопротивления при изменении температуры. Они используются в течение многих лет для измерения температуры в лабораторных и промышленных процессах и имеют хорошую репутацию в отношнении точности, повторяемости и стабильности.

Большинство элементов RTD состоят из длинной тонкой спиральной проволоки, обернутой вокруг керамического или стеклянного сердечника. Элемент обычно довольно хрупкий, поэтому он часто помещается внутри защитного зонда, чтобы защитить его. Элемент RTD изготовлен из чистого материала, сопротивление которого при различных температурах документировано. Материал имеет предсказуемое изменение сопротивления при изменении температуры; Именно это предсказуемое изменение используется для определения температуры [[[11]](#endnote-10)].

# Полупроводниковые датчики температуры

Это электронные устройства (рис. 8), изготовленные согласно современным электронным полупроводниковым устройствам, таким как микропроцессоры. Более тысячи устройств могут быть изготовлены на тонких кремниевых пластинах. Весь новый диапазон полупроводниковых датчиков температуры поступает от разных производителей. Однако самыми популярными среди них являются AD590 и LM35.

«Их конструкция обусловлена ​​тем, что полупроводниковые диоды имеют температурно-чувствительное напряжение по сравнению с текущими характеристиками. Когда два идентичных транзистора работают с постоянным отношением плотностей тока коллектора, разница в напряжениях базового эмиттера прямо пропорциональна абсолютной температуре [[[12]](#endnote-11)]».

Основные характеристики полупроводниковых термометров:

* линейный выход;
* умеренно небольшие размеры;
* их температурный диапазон обычно ограничен от -40 до + 120 ° C;
* дают достаточно точные показания температуры, если они должным образом откалиброваны;
* обеспечивают очень небольшую взаимозаменяемость.
* не предназначены для теплового контакта с внешними поверхностями;
* использование этих температурных датчиков позволяет легко взаимодействовать с другими электронными устройствами, такими как усилители, регуляторы, цифровые сигнальные процессоры и микроконтроллеры и т. д;
* Эти типы датчиков температуры считаются идеальными для встроенных приложений, где они устанавливаются внутри самого оборудования.
* В отличие от других датчиков температуры, таких как термопары и RTD, их электрические и механические характеристики не очень надежны [[[13]](#endnote-12)].

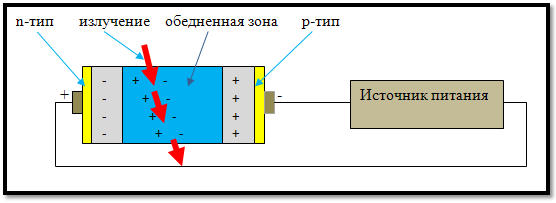


Рисунок 6 - Полупроводниковый датчик

# Термоэлектрические (термопары)

Термопара - это электрическое устройство, состоящее из двух разнородных проводников, образующих электрические соединения при различных температурах. Термопара производит зависящее от температуры напряжение в результате термоэлектрического эффекта, и это напряжение можно интерпретировать для измерения температуры. Термопары являются широко используемым типом температурного датчика. [[[14]](#endnote-13)]

Коммерческие термопары недороги, [[[15]](#endnote-14)]взаимозаменяемы, поставляются со стандартными разъемами и могут измерять широкий диапазон температур. В отличие от большинства других методов измерения температуры, термопары автономны и не требуют внешней формы возбуждения. Основным ограничением с помощью термопар является точность; Системные ошибки менее одной градуса Цельсия (° C) могут быть трудными. [[[16]](#endnote-15)]

Термопары широко используются в науке и промышленности. Области применения включают измерение температуры для печей, выхлопных газов газовых турбин, дизельных двигателей и других промышленных процессов. Термопары также используются в домах, офисах и предприятиях в качестве датчиков температуры в термостатах, а также в качестве датчиков пламени в устройствах безопасности для газовых главных приборов.

# Акустические

Датчик детектирует среду и преобразует эту информацию в цифровой или аналоговый сигнал , который может быть интерпретирован компьютером или наблюдателем. Датчик акустической волны - это электронное устройство, которое может измерять уровни звука. Они называются акустическими волновыми датчиками, поскольку их механизм обнаружения представляет собой механическую (или акустическую) волну. Когда акустическая волна (вход) проходит через определенный материал или вдоль поверхности материала, на него влияют различные свойства материала и препятствия, с которыми он проходит. Любые изменения характеристик этого дорожного пути влияют на скорость и / или амплитуду волны. Эти характеристики преобразуются в цифровой сигнал (выход) с использованием преобразователей. Эти изменения могут контролироваться путем измерения частотных или фазовых характеристик датчика. Затем эти изменения могут быть переведены на соответствующие физические различия. [[[17]](#endnote-16)], [[[18]](#endnote-17)]

# Пьезоэлектрические

В датчиках этого типа главным элементов является кварцевый пьезорезонатор.

Как известно пьезоматериал изменяет свои размеры при воздействии тока(прямой пьезоэффект). На этот пьезоматериал попеременно передается напряжение разного знака, от чего он начинает колебаться. Это и есть пьезорезонатор. Выяснено, что частота колебаний этого резонатора зависит от температуры, это явление и положено в основу пьезоэлектрического датчика температуры.

# Влажности

Позволяют определять абсолютную, или относительную влажность среды, окружающей датчик.

Влажность может измеряться несколькими из возможных величин:

Для определения влажности как воздуха, так и других газов, измерения проводятся в граммах на кубометр, когда речь об абсолютном значении влажности, либо в единицах RH, когда речь о влажности относительной.

Для измерения влажности твердых тел или в жидкостях подходят измерения в процентах от массы исследуемых образцов.

Для определения влажности плохо смешиваемых жидкостей, единицами измерения будут служить ppm (сколько частей воды приходится на 1000000 частей веса образца).

По принципу действия, гигрометры делятся на:

* емкостные;
* резистивные;
* термисторные;
* оптические;
* электронные.

# Классификация газоанализаторов.

ГАЗОАНАЛИЗАТОРЫ

включающие вспомог. хим. реакции

Включ. вспом. физ.-хим. процессы

Приборы на чисто физ. методах

Рисунок 7 - Газоанализаторы

Газоанализа́тор — прибор для определения качественного и количественного состава смесей газов. Газоанализаторы бывают двух типов: ручного действия и автоматические. Наиболее распространены абсорбционные газоанализаторы, где компоненты газовой смеси последовательно поглощаются различными реагентами. Автоматические газоанализаторы непрерывно мерюют какую-либо физическую или физико-химическую характеристику газовой смеси или её отдельных компонентов. По принципу действия автоматические газоанализаторы могут быть разделены на 3 группы (рис. 9) [[[19]](#endnote-18)]:

* Приборы, основанные на физических методах анализа, включающих вспомогательные химические реакции.
* Приборы, основанные на физических методах анализа, включающих вспомогательные физико-химические процессы (термохимические, электрохимические, фотоионизационные, фотоколориметрические, хроматографические и др.).
* Приборы, основанные на чисто физических методах анализа (термокондуктометрические, денсиметрические, магнитные, оптические и др.).

На сегодняшний день наиболее популярны приборы из двух последних категорий, а конкретнее электрохимические и оптические газоанализаторы. Такие приборы способны обеспечить контроль концентрации газов в режиме реального времени. Все приборы газового анализа также могут быть классифицированы:

* по функциональным возможностям (индикаторы, течеискатели, сигнализаторы, газоанализаторы);
* по конструктивному исполнению (стационарные, переносные, портативные);
* по количеству измеряемых компонентов (однокомпонентные и многокомпонентные);
* по количеству каналов измерения (одноканальные и многоканальные);
* по назначению (для обеспечения безопасности работ, для контроля технологических процессов, для контроля промышленных выбросов, для контроля выхлопных газов автомобилей, для экологического контроля).

# Современные датчики и их применение

Давайте посмотрим насколько российское производство датчиков может быть автономным: проведем импортозамещение. В качестве зарубежных возьмем датчики, предоставляемые японской фирмой Figaro[[20]](#footnote-2) (табл. 2) [[[21]](#endnote-19)].

Таблица 2 – Сравнение датчиков

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Газ | Диапазон измерений | Наим-е | Тип | ПРИМЕНЕНИЕ | Аналог |
| Атмосферные примеси | 0-30 ppm | [TGS2600](http://www.platan.ru/cgi-bin/qwery.pl/id=91807378) | S | Качество воздуха внутри помещений (общее применение) | [ИБЯЛ.407111.002-15](http://www.analitpribor-smolensk.ru/products/bezopasnost_gazoanalizatory/stacionarnye_gazoanalizatory/dam_datchikigazoanalizatory_termomagnitnye/) (Кислород-воздух) |
| 0-30 ppm | [TGS2602](http://www.platan.ru/cgi-bin/qwery_i.pl?code=TGS2602) | S | Качество воздуха внутри помещений (летучие органические соединения) |
| 0-30 ppm | [TGS2603](http://www.platan.ru/cgi-bin/qwery_i.pl?code=TGS2603) | S | Качество воздуха внутри помещений (для определения запахов) | [ИБЯЛ.407111.002-16](http://www.analitpribor-smolensk.ru/products/bezopasnost_gazoanalizatory/stacionarnye_gazoanalizatory/dam_datchikigazoanalizatory_termomagnitnye/) (Кислород-воздух) |
| 0-30 ppm | [TGS8100](http://www.platan.ru/cgi-bin/qwery_i.pl?code=TGS8100) | S(MEMS) | Качество воздуха внутри помещений (общее применение) |
| Спирт | 0-1,000ppm | [TGS3820](http://www.platan.ru/cgi-bin/qwery_i.pl?code=TGS3820) | S | Персональные алкотестеры | MP-3 |
| Спирт и пары растворителей | 0-5,000ppm | [TGS2620](http://www.platan.ru/cgi-bin/qwery.pl/id=923721354) | S | Определение наличия спирта и паров растворителей | MQ-3 |
| Аммиак | 0-300ppm | [TGS826](http://www.platan.ru/cgi-bin/qwery.pl/id=801057288) | S | Определение утечки хладагента | SPC-23-1120 |
| 0-100ppm | [TGS2444](http://www.platan.ru/cgi-bin/qwery.pl/id=645924253) | S | Определение утечки хладагента, контроль вентиляции воздуха в сельскохозяйственной промышленности и птицеводстве |
| Углекислый газ | 0-5,000ppm | [CDM30K](http://www.platan.ru/cgi-bin/qwery.pl/id=784728980) | O | Контроль воздуха в помещениях, зданиях и агропромышленном комплексе | ИБЯЛ.407111.002-33 |
| 0-2% | CDM85 | O | Контроль воздуха в помещениях, зданиях и агропромышленном комплексе | ИБЯЛ.407111.002-34 |
| 0-4,000ppm | [CDM4161](http://www.platan.ru/cgi-bin/qwery_i.pl?code=CDM4161) | E(S) | Контроль воздуха в промышленных и жилых помещениях | ИБЯЛ.407111.002-35 |
| 0-4% | [CDM4160](http://www.platan.ru/cgi-bin/qwery_i.pl?code=CDM4160) | E(S) | Контроль воздуха в промышленных и жилых помещениях | ИБЯЛ.407111.002-03 |
| Угарный газ | 0-1,000ppm | [TGS5042](http://www.platan.ru/cgi-bin/qwery_i.pl?code=TGS5042) | E(L) | Сигнализации утечки газа для жилых помещений, паркингов, водонагревателей на газовом топливе, кемперов, яхт и т.д. | MQ-7 |
| Жидкий кислород | 0-80ppm | [KDS-25B](http://www.platan.ru/cgi-bin/qwery.pl/id=284096804) | E(L) | Приборы контроля жидкого кислорода | - |
| Фреон | 0-3,000 ppm | [TGS 832](http://www.platan.ru/cgi-bin/qwery_i.pl?code=TGS%20832) | S | Определение утечки в стационарных холодильных установках | FR01-220 |
| 0-100 ppm | [TGS 3830](http://www.platan.ru/cgi-bin/qwery.pl/id=426740319) | S | Определение утечки в портативных холодильных установках |
| Водород | 0-1,000 pm | [TGS 821](http://www.platan.ru/cgi-bin/qwery.pl/id=27827847) | S | Определение утечки водорода | MQ-8 |
| Водород, метан и сжиженный газ | 0-100%LEL | [TGS 6812](http://www.platan.ru/cgi-bin/qwery.pl/id=83315530) | C | Определение утечки водорода и взрывчатых газов в топливных элементах | - |
| Гидросульфат (серная кислота) | 0-100 ppm | [TGS 825](http://www.platan.ru/cgi-bin/qwery.pl/id=591054285) | S | Промышленные газоанализаторы | ГАНК-4С |
| LP газ (сжиженный нефтяной газ | 0-20% LEL | [TGS 2610](http://www.platan.ru/cgi-bin/qwery_i.pl?code=TGS%202610) | S | Сигнализации утечки газа для жилых помещений, кемперов, яхт, водонагревателей на газовом топливе | MQ-6 |
| Метан | 0-20% LEL | [TGS 2611](http://www.platan.ru/cgi-bin/qwery_i.pl?code=TGS%202611) | S | Сигнализации утечки газа для жилых помещений, кемперов, яхт, водонагревателей на газовом топливе | ОВЕН ДЗ-1-СН4 |
| 0-20% LEL | TGS 8410 | S(MEMS) | Сигнализации утечки газа для жилых помещений |
| Метан и угарный газ | 0-25% LEL | [TGS 3870](http://www.platan.ru/cgi-bin/qwery.pl/id=490981780) | S | Сигнализации утечки газа для жилых помещений и водонагревателей на газовом топливе | GD100-CN |
| Метан и сжиженный газ | 0-20% LEL | [TGS 2612](http://www.platan.ru/cgi-bin/qwery.pl/id=297952208) | S | Сигнализации утечки газа для жилых помещений, кемперов, яхт, водонагревателей на газовом топливе | Sapsan\_GL-02 |
| 0-100% LEL | [TGS 6810](http://www.platan.ru/cgi-bin/qwery.pl/id=26642658) | C | Сигнализации утечки газа для жилых помещений, кемперов, яхт, водонагревателей на газовом топливе |
| Кислород | 0-30% | [SK-25F](http://www.platan.ru/cgi-bin/qwery.pl/id=34423828) | E(L) | Контроль кислорода | Датчик Кислорода Шевроле Круз 55566648 |
| 0-100% | [KE-25](http://www.platan.ru/cgi-bin/qwery.pl/id=232203477) | E(L) | Контроль кислорода |
| 0-100% | [KE-50](http://www.platan.ru/cgi-bin/qwery_i.pl?code=KE-50) | E(L) | Контроль кислорода |

Тип датчиков:

S - полупроводниковые

E(L) - с жидким электрохимическим электродом

E(S) - с твердым электрохимическим электродом

C - каталитические

O - оптические

# Детекторы запахов

С эволюционной точки зрения обоняние является одним из самых старых чувств, позволяющим искать пищу, осознавая опасность или общение: человеческое обоняние является защитным смыслом, поскольку позволяет выявлять потенциальные болезни или инфекции с учетом приятного запаха / неприятности. Запахи представляют собой смеси легких и малых молекул, которые, находясь в контакте с различными человеческими сенсорными системами, также при очень низких концентрациях в вдыхаемом воздухе, способны стимулировать анатомический ответ: ощущаемое восприятие - это запах. Оценка запаха является ключевым моментом в некоторых промышленных производственных процессах (например, пищевых продуктах, напитках и т. Д.) И приобретает устойчивое значение в необычных технологических областях (например, качество воздуха в помещениях); Этот вопрос в основном касается воздействия на окружающую среду различных видов промышленной деятельности (например, кожевенных заводов, нефтеперерабатывающих заводов, скотобоен, винокуренных заводов, гражданских и промышленных очистных сооружений, полигонов и установок для компостирования) в качестве источников обонятельных неприятностей, верхней жалобы на загрязнение воздуха. Хотя человеческая обонятельная система по-прежнему рассматривается как наиболее важный и эффективный «аналитический инструмент» для оценки запаха, потребность в более объективных аналитических методах наряду с открытием материалов с химико-электронными свойствами способствовала развитию сенсорных Машинное обоняние, потенциально имитирующее биологическую систему. В этом обзоре рассматривается состояние как человеческого, так и инструментального восприятия, которое в настоящее время используется для обнаружения запахов. Обсуждаются ольфактометрические методы, в которых используется группа обученных экспертов, и подчеркиваются сильные и слабые стороны оценки запаха с помощью обнаружения человека. Затем описываются основные функции и принципы работы современных электронных носов (E-Noses), в которых основное внимание уделяется их лучшим характеристикам для экологического анализа. Мониторинг выбросов парниковых газов, проведенный с помощью обоих методов, наконец, пересматривается, чтобы показать дополнительные ответы человеческого и инструментального зондирования [[[22]](#endnote-20)].

# Биологический (естественный) детектор

Биосенсор представляет собой аналитический прибор, который сочетает в себе биологический компонент с физико - химическим детектором [[[23]](#endnote-21)] [[[24]](#endnote-22)]. Биологический чувствительный элемент (например ткани, микроорганизмы, клеточные рецепторы , ферменты , антитела , нуклеиновые кислоты и т.д.) представляет собой биологически полученный материал или биомиметический компонент , который взаимодействует с анализируемым веществом под изучением. Биологически чувствительные элементы могут быть созданы с помощью биоинженерии. Преобразователь или детекторный элемент (физико - химический; оптический, пьезоэлектрический , электрохимический и т.д.) преобразует сигнал в результате взаимодействия анализируемого вещества с биологическим элементом в другой сигнал (то есть, трансдуцирует) , которые могут быть более легко измерить и количественно. Читателю биосенсора устройство с ассоциированными электроники или сигнальных процессоров, которые в первую очередь отвечают за отображение результатов в удобном для пользователя виде. [[[25]](#endnote-23)] Это иногда приходится самой дорогой части сенсорного устройства, однако можно сгенерировать удобный дисплей , который включает в себя преобразователь и чувствительный элемент (голографический датчик ).

# Детекторы газовой хромографии

На общем фоне можно выделить три основных преимущества газовой хроматографии по сравнению с другими общими аналитическими методами. Во-первых, суммарная мощность, обеспечиваемая разделением длинных стенок с покрытием открытых трубчатых колонн. Во-вторых, скорость разделения, обеспечиваемая процессом разделения газовой фазы. Третьей является диапазон и возможности его детекторов. Поскольку газы являются прозрачными для большинства детекторов, фоновые уровни и помехи очень низки. Такая прозрачность обеспечивает выбор детекторов, не представляется возможным с другими методами разделения.

Детекторы делятся на две основные категории: универсальные и селективные. Универсальные детекторы способны обнаружить все соединения (или большинство соединений). Селективный детектор обнаруживает только соединение с определенными молекулами, элементарными или физическими свойствами [[[26]](#endnote-24)].

Рассмотрим критерии оценки детекторов, общепринятые для всех систем детектирования; к ним относятся:

* чувствительность (показатель соответствия детектируемого вещества и датчика, от неё зависит величина сигнала, соответствующая концентрации и потоку вещества в газе-носителе);
* минимально детектируемая концентрация (предел обнаружения);
* фоновый сигнал (сигнал, подаваемый хроматографом в отсутствие анализируемых веществ);
* уровень шума;
* скорость дрейфа нулевой линии;
* диапазон линейности детектора;
* эффективный объем и время отклика (быстродействие);
* селективность.

# Детектор электронного захвата (ДЭЗ)

ДЭЗ, обычно, используются для тестирования окружающей среды на предмет обнаружения: ПХБ, хлорорганических пестицидов, гербицидов и различных галогенированных углеводородов.

Для ионизации газа – носителя используется радиоактивный тритий или 63Ni. Быстрые бета - частица, генерируемые радиоактивным источником сталкиваются с молекулами носителя или подпиточным газом. При ударной ионизации, образуются свободные медленные электроны, которые генерируют измеримый и устойчивый ток. Если выходящий поток содержит органические молекулы с электроотрицательными функциональными группами, такими как галогены, фосфор или нитрогруппы, то электроны будут захвачены и ток снизится[[[27]](#endnote-25)].

Захват может осуществляться в процессах следующих типов:

* диссоциативный захват - захват электрона молекулой с образованием возбужденного иона и последующей его диссоциацией;
* захват электрона с образованием возбужденного иона и последующей потерей возбуждения при столкновении с третьей частицей;
* захват электрона при тройном столкновении;
* радиационный захват электрона нейтральным атомом.

Природа газа-носителя оказывает влияние на чувствительность детектирования:

1) в разных газах при неизменных условиях хроматографирования различна энергия и подвижность электронов, а, следовательно, и вероятность захвата неодинакова;

2) в разных газах различна подвижность ионов, а, следовательно, и скорость процессов рекомбинации;

3) радиоактивное излучение проникает в разных газах на различное расстояние, т.е. поглощение излучения и ионизация будут различны.

Было установлено, что использование азота и аргона в качестве газа-носителя более предпочтительно, однако может применяться и гелий, но чувствительность при этом, как правило, ниже.

# Пламенно-ионизационный детектор (ДИП, ПИД)

Принцип ДИП-а основан на зависимости электрической проводимости ионизированного газа от его состава.

За введением в детектор анализируемого вещества следует изменение ионного тока. Это служит сигналом детектора.

Ионизация происходит при взаимодействии газа-носителя в смеси с анализируемым веществом и водородом в форсунке горелки.

Функцию одного из электродов выполняет горелка, а функцию собирающего электрода выполняет нержавеющая пластинка, свернутая в цилиндр, укрепленная на небольшом расстоянии над пламенем.

Источником ионизации является водородное пламя, поддерживаемое в камере-детекторе. В камеру введены водород и воздух для поддержания горения.

# Термоионный детектор (TID, ТИД)

Электрически нагреваемый термоядерный шарик (TID-шарик) расположен так, что выходящий поток контактирует с поверхностью горячего борта.

Молекулы, содержащие NO2 функциональные группы, такие как TNT (тринитротолуол), подвергаются реакции каталитической поверхностной химии. Полученные ионы притягиваются к коллекторному электроду, усиливаются и выводятся в систему данных.

Термоионный ионизационный детектор чрезвычайно избирателен, практически не реагируя на большинство ароматических и алифатических углеводородов. TID также реагирует на хлорированные фенолы, такие как пентахлорфенол (PCP), при немного меньшей чувствительности.

Для лучшей чувствительности, TID требует воздуха для работы. Если в качестве газа-носителя используется воздух, других газов детектора не требуется. Газ для подачи воздуха предусмотрен таким образом, что в качестве носителя может использоваться азот или другой газ. TID также может работать в среде с азотом только с аналогичными, но не идентичными характеристиками реакции [[[28]](#endnote-26)].

# Пламенно-фотометрический детектор (ПФД)

Фотометрический детектор пламени позволяет проводить чувствительные и выборочные измерения летучих соединений серы и фосфора. Принцип обнаружения представляет собой образование в восстановительном пламени возбужденной серы (S2) и возбужденных видов оксида фосфора (HPO. Трубка фотоумножителя измеряет характерную хемилюминесцентную эмиссию от этих видов. Оптический фильтр можно менять, чтобы фотоумножитель мог видеть свет на 394 нм для измерения серы или 526 нм для фосфора. Реакция детектора на люминофор линейна, тогда как реакция на серу зависит от квадрата концентрации.

Пламя в ПФД, как правило, требует специальных марок газов HiQ Synthetic air 5.5 (99,9995% чистоты и не более 5 ppm общего количества примесей) и высокочистого топливного газа, такого как HiQ Hydrogen 6.0, для работы. В тех случаях, когда использование цилиндра водорода ограничено, водородный генератор HiQ® безопасен в работе из-за его небольшого объема (<40 мл). HiQ® предлагает широкий спектр газовых генераторов высокой чистоты для собственного производства водорода, азота и нулевого воздуха [[[29]](#endnote-27)].

# Масс-селективный детектор (МСД)

Масс-спектрометр уже давно проявил себя как отличный детектор газовой хроматографии. Спектры, полученные с его помощью, дают такую информацию о качественном составе пробы, какую не могут дать иные газохроматографические детекторы. МСД обладает большей чувствительностью по сравнению с ИКД, кроме того, он разрушает пробу, дает информацию о массе, а не о функциональных группах и различает скорее гомологи, чем изомеры.

Рассмотрим на примере масс-селективного детектора Agilent 5977A.

Agilent Technologies представила масс-селективный детектор серии Agilent 5977A, который включает в себя преимущества GC 7890B и имеет переработанный инертный масс-спектрометрический ионный источник, который повышает производительность при эффективном собирании ионов.

МСД предлагает высокую чувствительность, с новой метрикой спецификации, пределом обнаружения прибора, гарантирующим истинную производительность на уровне системы на практике. Используя турбомолекулярный насос TwisTorr 304 FS от Agilent, оптимизированный для работы с легким газом, система GC / MSD 5977A эффективна и прочная, и была оценена и сертифицирована в соответствии со стандартами качества Agilent.



Рисунок 8 - МСД

GC / MSD работает на программном обеспечении рабочей станции Agilent MassHunter. MassHunter, предназначенный для высокопроизводительных GC / mS, обеспечивает интуитивное и мощное управление прибором в сочетании с автоматическим сбором данных, а также качественным и количественным анализом данных и отчетностью. Системы MassHunter для MSD также включают полную версию MSD ChemStation для обеспечения совместимости с ранее приобретенными инструментами [[[30]](#endnote-28)].

# Атомно-эмиссионный детектор (АЭД)

Газовую хроматографию с атомно-эмиссионным детектором или GC-AED используют для анализа бензина, дизельного топлива, нефти, загрязняющих окружающую среду веществ в почве, воде и сточных водах, а также летучих органических соединений (ЛОС) в воде. При этом используется атомно-эмиссионная спектроскопия для обнаружения элементов на выходе из колонки газового хроматографа.

В АЭД используется гелий в качестве газа-носителя для пронесения через ГХ образца, содержащий низкий уровень примесей воды и кислорода, т.к они могут провзаимодействовать с неподвижной фазой и вызвать такие проблемы, как флуктуационный шум и унос неподвижной фазы из колонки в газовой хроматограмме, что делает ее неточной. Кроме того, АЭД использует гелиевую плазму, что задействует очень высокую степень чистоты гелия по причине его чувствительности. Для повышения чувствительности детектора иногда используется газ-реагент, который предотвращает осадок сажи на лампе или разрядной трубке. Также гелий широко используется в GC-AED на выходе из колонки для увеличения скорости потока в детектор. Обычно используется процедура калибровки анализатора с помощью калибровочной смеси [[[31]](#endnote-29)].

# Гелий-ионизационный детектор (ГИД)

Гелий-ионизационный детектор является универсальным детектором, который реагирует на все молекулы, кроме неона. ГИД особенно полезнен для обнаружения летучих неорганических веществ, таких как NOx, CO, CO2, O2, N2 и Н2, которые не реагируют на ДИП или других детекторов. В отличии от ДИП, то ГИД не нуждается водорода или воздуха. ГИД требует только носитель гелий и подпиточный газ, и обеспечивает чувствительность в низком диапазоне частей на миллион. Многие лаборатории не хотят хранить водород по соображениям безопасности, поэтому тот факт, что ГИД требует только гелия является существенным преимуществом.

ГИД особенно полезен в сочетании с тепловым детектором проводимости. TCD не достаточно чувствительны, чтобы обнаружить низкие концентрации частей на миллион, в то время как HID насыщает в низком диапазоне процентов. При использовании обоих детекторов в серии, можно покрыть 10 частей на миллион до 100% [[[32]](#endnote-30)].

# Редокс-хемилюминесцентный детектор (РХД)

Редокс-хемилюминесцентный детектор представляет собой новый селективный детектор для газовой хроматографии на основе катализируемых окислительно-восстановительных реакций NO2 или HNO3 с восстанавливающими агентами с образованием NO, который затем детектируется методом хемилюминесценции озона. Изменяя некоторые из рабочих параметров редокс-хемилюминесцентного детектора, включая активный металл, используемый в качестве катализатора, и температуру слоя катализатора, селективность детектора может быть адаптирована к конкретному анализу. Когда катализатор с элементарным золотом используется при относительно низкой температуре (200-300 ° С), обнаруживаются только те соединения, которые могут быть легко окислены, такие как спирты, а при более высоких температурах (> 350 ° С) более широкие диапазоны Соединения дают ответ, включая альдегиды и кетоны. Когда в качестве катализатора используется золото, алканы не обнаруживаются, за исключением достаточно высоких температур катализатора (> 450 ° C). Когда палладий используется в слое катализатора даже при более низких температурах (<300 ° С), большее количество соединений вызывает реакцию редокс-хемилюминесцентного детектора, включая алканы. Таким образом, селективность окислительно-восстановительного хемилюминесцентного детектора можно контролировать, чтобы обеспечить селективный анализ для широкого диапазона типов образцов [[[33]](#endnote-31)].

# Фотоионизационный детектор (ДФИ)

Принцип работы ДФИ состоит в следующем: фотоны от УФ-лампы попадают в ионизационную камеру, через которую непрерывно проходит газ-носитель, выбранный таким образом, чтобы его потенциал ионизации был значительно выше энергии фотонов. В этом случае газ-носитель не ионизируется, в то время как попадание в камеру анализируемого вещества вызывает появление фотоионизационного тока, пропорционального концентрации этого вещества. Детектируются все соединения, в том числе и неорганические, для которых потенциал ионизации меньше энергии фотонов. Различные УФ-лампы могут обеспечить разную селективность ДФИ к различным соединениям. ДФИ более чувствителен, чем ДПИ. Наряду с этим использование воздуха в качестве газа-носителя и отсутствие пламени дают ДФИ неоспоримые преимущества перед ДПИ.

# Роль нейронных сетей в робототехнике и определении веществ

Информация взята из предшествующей курсовой работы [[[34]](#endnote-32)].

# Введение. Что такое нейронная сеть

В области информационных технологий, нейронная сеть представляет собой систему аппаратных средств и / или программного обеспечения по образцу работы нейронов в человеческом мозге. Нейронные сети - также называемые искусственные нейронные сети - множество глубоких обучающих технологий. Нейронные сети, как правило, включают в себя большое количество процессоров, работающих параллельно и расположенных в несколько ярусов (рис. 11). Первый ярус получает необработанный ввод информации - аналогичную зрительным нервам в визуальной обработке человека. Каждый последующий уровень принимает выходной сигнал от уровня предшествующих ему, а не из необработанного ввода - таким же образом, нейроны дальше от зрительного нерва принимать сигналы от тех, которые ближе к нему. Последний ярус производит выход системы.

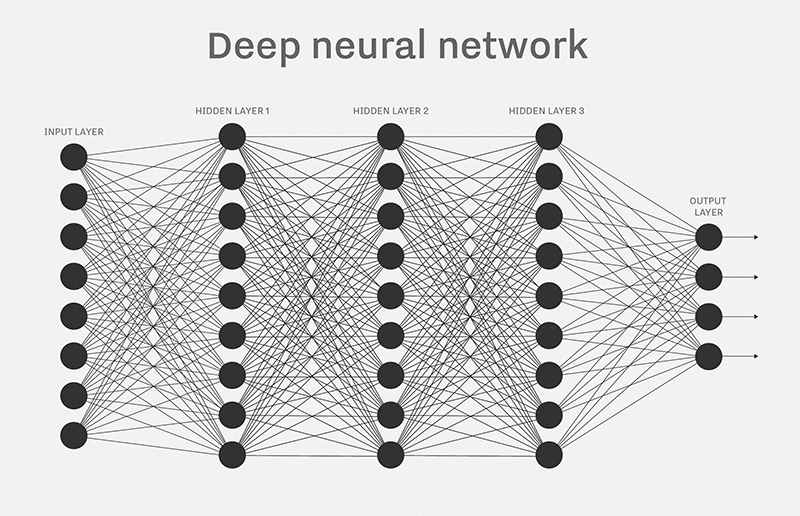


Рисунок 9 – Схема уровней нейросети

Каждый обработанный узел имеет свою собственную небольшую сферу знаний, в том числе то, что он “видел” и правила, которые были изначально запрограммированы или разработаны. Ярусы тесно взаимосвязаны, что означает, что каждый узел уровня N будет подключен ко многим узлам уровня [N-1] (входы) и уровня [N + 1], который обеспечивает ввод данных для этих узлов.

# Развитие нейронной сети

Обучение нейронной сети происходит посредством интерактивного процесса корректировки синаптических весов и порогов. В идеальном случае нейронная сеть получает знания об окружающей среде на каждой итерации процесса обучения.

С позиций нейронной сети, вероятно, можно использовать следующее определение:

Обучение – это процесс, в котором свободные параметры нейронной сети настраиваются посредством моделирования среды, в которую эта сеть встроена. Тип обучения определяется способом подстройки этих параметров.

Это определение процесса обучения нейронной сети предполагает следующую последовательность событий:

1. В нейронную сеть поступают стимулы из внешней среды.
2. В результате первого пункта изменяются свободные параметры нейронной сети.
3. После изменения внутренней структуры нейронная сеть отвечает на возбуждения уже иным образом.

Существуют два концептуальных подхода к обучению нейронных сетей: обучение с учителем и обучение без учителя (рис. 12).

Обучение нейронной сети с учителем предполагает, что для каждого входного вектора из обучающего множества существует требуемое значение выходного вектора, называемого целевым. Эти вектора образуют обучающую пару. Веса сети изменяют до тех пор, пока для каждого входного вектора не будет получен приемлемый уровень отклонения выходного вектора от целевого.

Обучение нейронной сети без учителя является намного более правдоподобной моделью обучения с точки зрения биологических корней искусственных нейронных сетей. Обучающее множество состоит лишь из входных векторов. Алгоритм обучения нейронной сети подстраивает веса сети так, чтобы получались согласованные выходные векторы, т.е. чтобы предъявление достаточно близких входных векторов давало одинаковые выходы [[[35]](#endnote-33)].

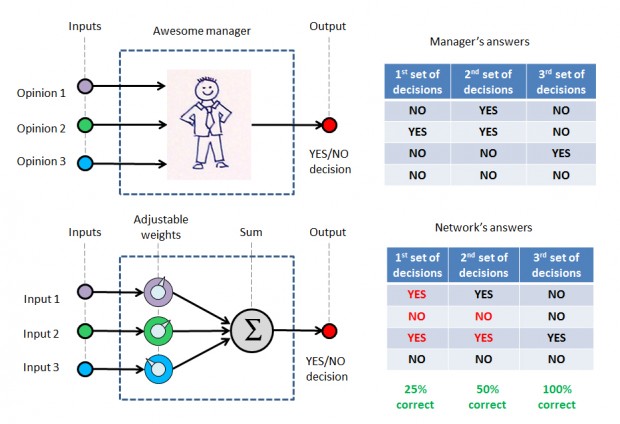


Рисунок 10 – Обучение нейронной сети

# Практическая часть

На рисунке 13 представлена 3-d модель робота-газоанализатора, разработанная в среде SolidWorks.

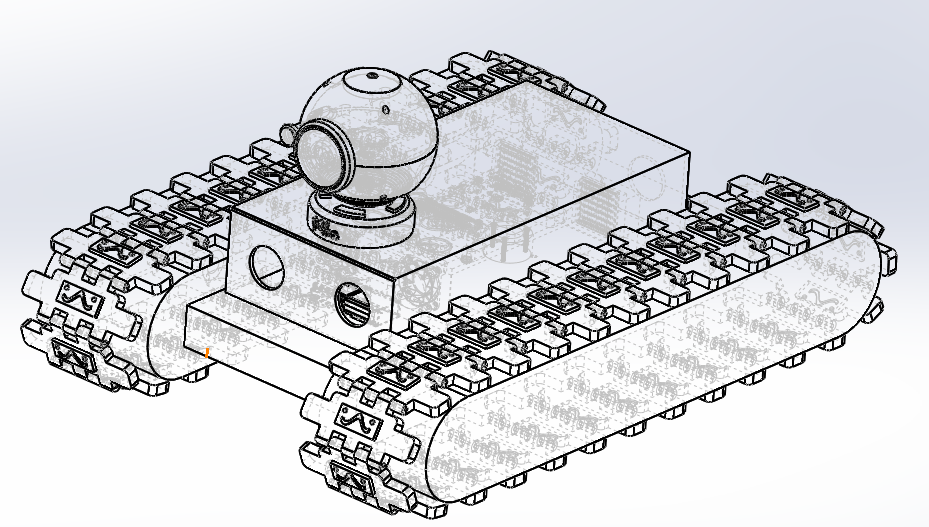


Рисунок 11 – Робот-газоанализатор

Данный робот будет оснащен следующими датчиками:

* датчик TGS2600;
* Датчик 3E-CO;
* Датчик 3E-NO2;
* Датчик 3E-HCl;
* Датчик 3E-HF;
* Датчик TGS826;
* Датчик TGS2611-E00;
* Датчик MN-5.

Сами датчики будут расположены внутри модуля на плате, как показано на рис. 14.

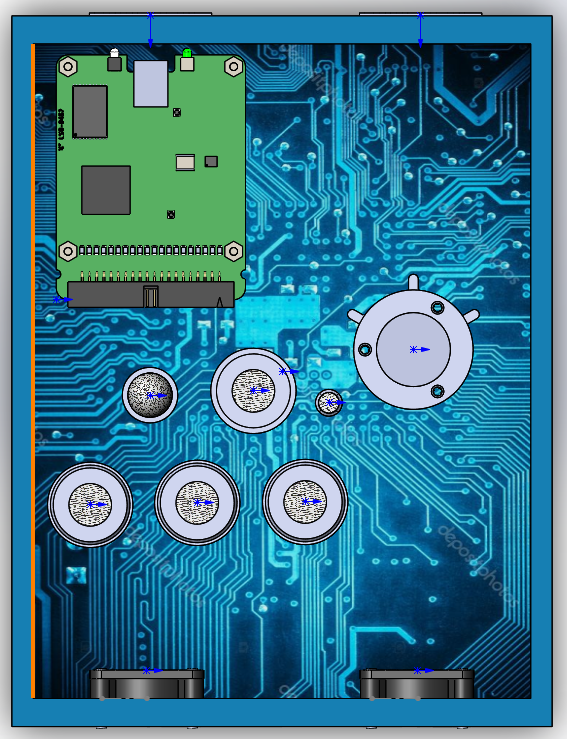


Рисунок 12 – Внутри модуля

# Заключение

В ходе ВКРб был(а):

* Проведён обзор методов газового анализа
* Принято решение, что для СРВ подходят полупроводниковые и электрохимические датчики;
* Произведён выбор соответствующих датчиков
* Разработана схема модуля многосенсорного анализа;
* Разработана компоновка ММА мобильного и стационарного исполнений;
* Разработана схема системы газового анализа

# ПРИЛОЖЕНИЕ А

# ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДАТЧИКОВ

В данном приложении представлены подробные характеристики датчиков, входящих в состав автономной системы.

## Датчик 3E-CO

Таблица 3 – Технические характеристики датчика 3E-CO

|  |  |
| --- | --- |
| Характеристики | Значения |
| Принцип измерения | электрохимический, амперометрический |
| Измеряемый компонент | CO |
| Диапазон рабочих концентраций угарного газа CO, млн-1(ppm) | 0 - 120 |
| Коэффициент преобразования при нормальных условиях, мкА/млн-1, не менее | 0,1 |
| Время установления выходного тока Т0,9, с, не более | 40 |
| Допускаемое снижение коэффициента преобразования по сравнению с исходным, % / месяц, не более | 2 |
| Время установления номинальных характеристик сенсора после воздействия до 10 мин. концентрации оксида углерода CO, отвечающей 3-кратному верхнему пределу измерения, мин., не более | 15 |
| Диапазон рабочей температуры воздуха, °C | от -10 до +50 |
| Диапазон относительной влажности воздуха (кратковременная работа), % | 20 - 95 (до 99) |
| Диапазон атмосферного давления, кПа | 80 - 120 |
| Габаритные размеры сенсора (без выводов) (диаметр × высота), мм, не более | Ø28×21,5 |
| Масса сенсора, г, не более | 20 |
| Срок службы датчика CO, лет, не менее | 2 |

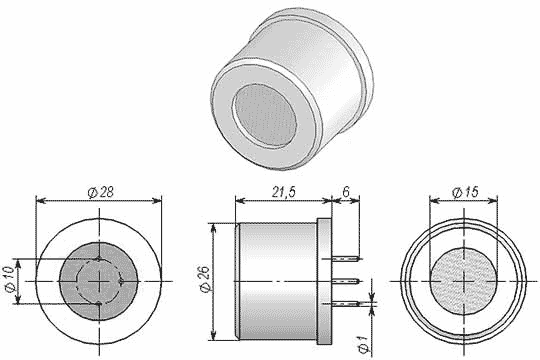


Рисунок 13 - Датчик 3E-CO

## Датчик TGS2611-E00

Таблица 4 – Технические характеристики датчика TGS2611-E00

|  |  |
| --- | --- |
| Характеристики | Значения |
| Основной измеряемый компонент | CH4, природный газ |
| Принцип работы | полупроводниковый |
| Наличие фильтра | есть |
| Минимальное значение диапазона чувствительности, млн-1(ppm) | 500 |
| Максимальное значение диапазона чувствительности, млн-1(ppm) | 10000 |
| Диапазон измерений концентрации метана по нижнему пределу взрываемости (LEL), % | 1 - 25 |
| Напряжение питания (пост. ток), В | 5 ± 0,2 |
| Потребляемая мощность подогревателя, мВт, не более | 280 |
| Диапазон рабочей температуры, °C | от -40 до +70 |
| Потребляемая мощность датчика, мВт, не более | 15 |
| Величина тока через подогреватель (нагревательный элемент (НЭ)), мА | 56 ± 5 |
| Сопротивление подогревателя (при комнатной температуре), Ом | 59 |
| Напряжение, подаваемое на НЭ (перем./пост. ток), В | 5 ± 0,2 |
| Масса датчика, г, не более | 1,4 |
| Диаметр датчика, мм, не более | 9,2 |
| Высота датчика (с выводами), мм, не более | 22,4 |
| Средний полный срок службы датчика горючих газов, лет, не менее | 5 |

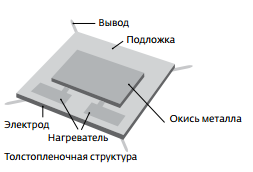
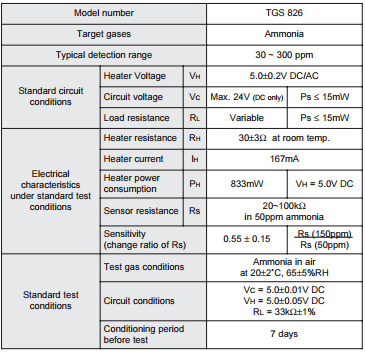


Рисунок 14 – Датчика TGS2611

## Датчик TGS826

Таблица 5 – Технические характеристика датчика TGS826



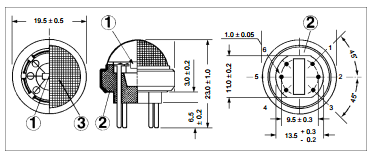


Рисунок 15 – Датчик TGS826

## Датчик MN-5

Таблица 6 – Технические характеристики датчика MN-5

|  |  |
| --- | --- |
| Характеристики | Значения |
| Принцип измерения | электрохимический |
| Измеряемый компонент | NO |
| Диапазон измеряемых концентраций оксида азота, млн-1 | 0 - 20 |
| Чувствительность, нА/млн-1 | 1300 ± 250 |
| Величина «шума», млн-1, не более | 0,1 |
| Нелинейность выходного сигнала, %, не более | 5 |
| Время выхода на показания (Т09), с, не более | 30 |
| Диапазон фонового сигнала, млн-1 | 0 - 1 |
| Рабочий диапазон температур, °C | от -20 до +50 |
| Изменение фонового сигнала при температуре от +20 до +40 °C, млн-1, не более | 3 |
| Диапазон рабочих давлений, мм рт. ст. | нормальное ± 10 % |
| Потенциал измерительного электрода, В | 0,3 |
| Средний полный срок службы электрохимической ячейки (ЭХЯ), лет, не менее | 3 |

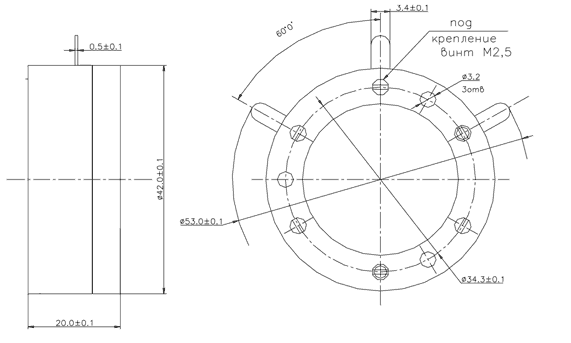


Рисунок 16 – Датчик MN-5

## Датчик 3E-NO2

Таблица 7 – Технические характеристики датчика 3E-NO2

|  |  |
| --- | --- |
| Характеристики | Значения |
| Принцип измерения | электрохимический |
| Измеряемый компонент | NO2 |
| Диапазон рабочих концентраций диоксида азота NO2, млн-1(ppm) | 0 - 15 |
| Чувствительность, мкА/млн-1 | 0,1 - 0,2 |
| Фоновое значение тока при температуре (20 ± 5) °C и относительной влажности воздуха (70 ± 5) %, мкА, не более | 0,2 |
| Нижний предел обнаружения оксида азота (IV) NO2, млн-1, не более | 0,5 |
| Функциональная зависимость тока от концентрации | линейная |
| Время установления выходного сигнала в диффузионном режиме Т0,9, с, не более | 30 |
| Допускаемое снижение чувствительности по сравнению с исходным, % / месяц, не более | 2 |
| Время установления номинальных характеристик сенсора после воздействия до 10 мин. концентрации диоксида азота NO2, отвечающей 3-кратному верхнему пределу измерения, мин., не более | 15 |
| Диапазон рабочей температуры воздуха, °C | от -30 до +50 |
| Диапазон относительной влажности воздуха (кратковременная работа), % | 20 - 98 (10 - 99) |
| Диапазон атмосферного давления, кПа | 80 - 120 |
| Габаритные размеры сенсора (без выводов) (диаметр × высота), мм, не более | Ø28×20 |
| Масса сенсора, г, не более | 25 |
| Срок службы датчика NO2, лет, не менее | 3 |

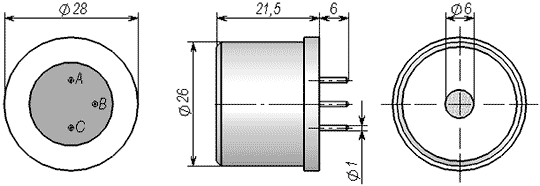


Рисунок 17 – Датчик 3E-NO2

## Датчик 3E-HCL

Таблица 8 – Технические характеристики датчика 3E-HCL

|  |  |
| --- | --- |
| Характеристики | Значения |
| Принцип измерения | электрохимический, потенциометрический |
| Измеряемый компонент | HCl |
| Диапазон рабочих концентраций хлороводорода HCl, млн-1(ppm) | 0 - 20 |
| Функциональная зависимость тока от концентрации | линейная |
| Коэффициент преобразования, мкА/млн-1, не менее | 0,2 |
| Фоновое значение тока, мкА, не более | 0,3 |
| Время установления выходного тока Т0,9, с, не более | 90 |
| Допускаемое снижение коэффициента преобразования по сравнению с исходным, % / месяц, не более | 2 |
| Время установления номинальных характеристик сенсора после воздействия до 10 мин. концентрации хлористого водорода HCl, отвечающей 3-кратному верхнему пределу измерения, мин., не более | 15 |
| Потенциал смещения индикаторного электрода относительного сравнительного электрода, В | 0 |
| Диапазон рабочей температуры воздуха, °C | от -10 до +50 |
| Диапазон относительной влажности воздуха (кратковременная работа), % | 20 - 95 (до 99) |
| Диапазон атмосферного давления, кПа | 80 - 120 |
| Габаритные размеры сенсора (без выводов) (диаметр × высота), мм, не более | Ø28×21,5 |
| Масса сенсора, г, не более | 25 |
| Срок службы датчика HCl, лет, не менее | 2 |

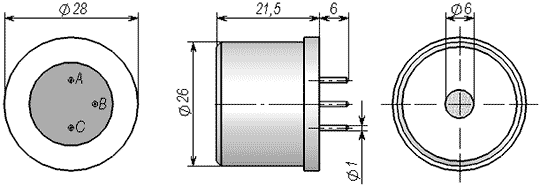


Рисунок 18 – Датчик 3E-HCL

## Датчик 3E-HF

Таблица 9 – Технические характеристика датчика 3E-HF

|  |  |
| --- | --- |
| Характеристики | Значения |
| Принцип измерения | электрохимический |
| Измеряемый компонент | HF |
| Диапазон рабочих концентраций фтористого водорода HF, млн-1(ppm) | 0 - 5 |
| Чувствительность, мкА/млн-1 | 1 ± 0,3 |
| Фоновое значение тока при температуре (20 ± 5) °C и относительной влажности воздуха (70 ± 5) %, мкА, не более | 0,1 |
| Нижний предел обнаружения фтороводорода HF, млн-1, не более | 0,1 |
| Время установления выходного сигнала в диффузионном режиме Т0,9, с, не более | 30 |
| Допускаемое снижение чувствительности по сравнению с исходным, % / месяц, не более | 2 |
| Время установления номинальных характеристик сенсора после воздействия до 10 мин. концентрации фтороводорода HF, отвечающей 3-кратному верхнему пределу измерения, мин., не более | 15 |
| Диапазон рабочей температуры воздуха, °C | от -30 до +50 |
| Диапазон относительной влажности воздуха (кратковременная работа), % | 20 - 98 (10 - 99) |
| Диапазон атмосферного давления, кПа | 80 - 120 |
| Габаритные размеры сенсора (без выводов) (диаметр × высота), мм, не более | Ø28×20 |
| Масса сенсора, г, не более | 25 |
| Срок службы датчика HF, лет, не менее | 2 |

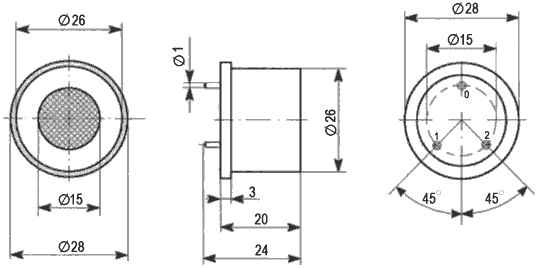


Рисунок 19 – Датчик 3E-HF

# Библиография

1. Документ Environmental Chemistry and Analysis Prof. M.S.Subramanian [↑](#endnote-ref-1)
2. Нормы [Электронный ресурс]. URL: http://vmede.org/sait/?page=3&id=Gigiena\_rukov\_ki4a\_2009&menu=Gigiena\_rukov\_ki4a\_2009 [↑](#endnote-ref-2)
3. Загрязнение России. [Электронный ресурс]. URL: http://ecologyinfo.ru/publ/12-1-0-298 [↑](#endnote-ref-3)
4. Разработка модели и алгоритма процесса распознавания веществ в атмосфере [Электронный ресурс]. URL: <http://www.lib.ua-ru.net/diss/cont/389906.html> [↑](#endnote-ref-4)
5. Меа́ндр (по названию геометрического орнамента в виде ломаной линии) — периодический сигнал прямоугольной формы, широко используемый в радиотехнике и электронике. Длительность импульса и длительность паузы между импульсами в одном периоде такого сигнала равны. Другими словами, меандр — периодический прямоугольный сигнал со скважностью, равной 2 или, что то же самое, с коэффициентом заполнения 0,5. [↑](#footnote-ref-1)
6. Silver J.A. // Appl. Opt. 1992. V. 31. P. 707–717. [↑](#endnote-ref-5)
7. Hobbs Ph.C.D. // Appl. Opt. 1997. V. 36. P. 903–920. [↑](#endnote-ref-6)
8. Лигер В.В., Курицын Ю.А., Кривцун В.М., Снегирев Е.П., Кононов А.Н. //Квант. Электрон. 1997. Т.24.С.371-376. [↑](#endnote-ref-7)
9. Liger V., Zybin A., Kuritsyn Yu., Niemax K. // Spectrochim. Acta. B. 1997. V. 52. P. [↑](#endnote-ref-8)
10. Электрохимические датчики [Электронный ресурс]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Electrochemical\_gas\_sensor [↑](#endnote-ref-9)
11. RTD [Электронный ресурс]. URL: http://www.omega.com/prodinfo/rtd.html [↑](#endnote-ref-10)
12. IC temperature sensors [Электронный ресурс]. URL: http://www.sensorwiki.org/doku.php/sensors/temperature [↑](#endnote-ref-11)
13. ПП датчики [Электронный ресурс]. URL: http://automationwiki.com/index.php?title=Semiconductor\_Temperature\_Sensors [↑](#endnote-ref-12)
14. "Thermocouple temperature sensors". Temperatures.com. Retrieved 2007-11-04. [↑](#endnote-ref-13)
15. Ramsden, Ed (September 1, 2000). "Temperature measurement". Sensors. Retrieved 2010-02-19. [↑](#endnote-ref-14)
16. "Technical Notes: Thermocouple Accuracy". IEC 584-2(1982)+A1(1989). Retrieved 2010-04-28. [↑](#endnote-ref-15)
17. Sensormag acoustic sensors [Электронный ресурс]. URL: http://www.sensorsmag.com/components/acoustic-wave-technology-sensors [↑](#endnote-ref-16)
18. TUE acoustic sensors [Электронный ресурс]. URL: https://venus.tue.nl/ep-cgi/ep\_publ\_detail.opl?taal=NL&rn=19890292&volgnr=232281 [↑](#endnote-ref-17)
19. Газоанализатор [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Газоанализатор [↑](#endnote-ref-18)
20. Фирма [Figaro Engineering Inc.](http://www.platan.ru/brands/figaro.shtml) (Япония) является одним из мировых лидеров по производству датчиков детектирования и определения концентрации газов и газовых примесей в составе воздуха. [↑](#footnote-ref-2)
21. Датчики Фигаро. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.platan.ru/docs/helpful_link/figaro.html> [↑](#endnote-ref-19)
22. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3231359/ [↑](#endnote-ref-20)
23. Тернер, Энтони; Уилсон, Джордж; Kaube, Исао (1987). Биосенсоры: Основы и приложения . Оксфорд, Великобритания: Oxford University Press. п. 770 [↑](#endnote-ref-21)
24. Banica, Florinel-Габриэль (2012). Химические сенсоры и биосенсоры: Основы и приложения . Чичестер, Великобритания: John Wiley & Sons. п. 576 [↑](#endnote-ref-22)
25. Кавалканти А, Ширинзаде В, Чжан М, Kretly LC (2008). «Архитектура аппаратного обеспечения нанороботов медицинской обороны» (PDF) . Датчики [↑](#endnote-ref-23)
26. Детекторы газовой хроматографии [Электронный ресурс] . URL:  
    https://www.sepscience.com/Techniques/GC/Articles/831-/GC-Solutions-4-GC-Detectors [↑](#endnote-ref-24)
27. Детектор электронного захвата [Электронный ресурс]. URL: http://hiq.linde-gas.com/en/analytical\_methods/gas\_chromatography/electron\_capture\_detector.html [↑](#endnote-ref-25)
28. ТИД [Электронный ресурс]. URL: http://www.srigc.com/home/product\_detail/tid---thermionic-ionization-detector [↑](#endnote-ref-26)
29. ПФД [Электронный ресурс]. URL:   
    http://hiq.linde-gas.com/en/analytical\_methods/gas\_chromatography/flame\_photometric\_detector.html [↑](#endnote-ref-27)
30. ПСД [Электронный ресурс]. URL: https://www.rdmag.com/product-release/2013/02/mass-selective-detector [↑](#endnote-ref-28)
31. АЭД [Электронный ресурс]. URL: https://www.airproducts.com/industries/analytical-laboratories/analytical-lab-applications/product-list/gc-with-atomic-emission-detector-gc-aed-analytical-laboratories.aspx?itemId=F63C60220EDA4615903A0FA3243BEAEB [↑](#endnote-ref-29)
32. ГИД [Электронный ресурс]. URL: http://www.sri-instruments-europe.com/en/products/gc\_detectors/hid.php [↑](#endnote-ref-30)
33. РХД [Электронный ресурс]. URL: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021967301837973 [↑](#endnote-ref-31)
34. Курсовая работа «Использование нейросетевых технологий для распознавания следовых концентраций органических веществ» Попов А.В [↑](#endnote-ref-32)
35. Обучение нейронных сетей. [Электронный ресурс]. URL: http://www.aiportal.ru/articles/neural-networks/learning-neunet.html [↑](#endnote-ref-33)