**Оптический датчик положения** представляет собой электронное устройство, реагирующее на изменение принимаемого светового потока. Оптические датчики положения используются для определения наличия (отсутствия) объекта в заданном пространстве, поскольку наличие (отсутствие) объекта приводит к изменению параметров светового потока, принимаемого датчиком. Для повышения эффективности работы оптических датчиков положения и улучшения их характеристик производится модуляция и пространственная селекция светового излучения.   
Эти меры позволяют устранять влияние посторонних световых засветок и помехи от других оптических датчиков.

**Принцип работы оптических датчиков положения**

Оптические датчики положения состоят из 2-х функционально законченных узлов - источника оптического излучения и приемника этого излучения. Источник оптического излучения (передатчик) и приемник могут быть в одном корпусе или в разных корпусах.

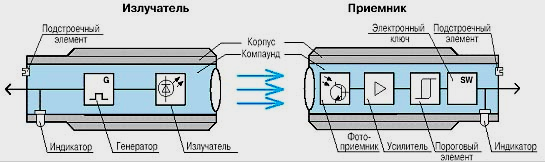


Рис.109. Оптический датчик

Источник: http://www.straus-com.ru/fstore/vb1.jpg

Передатчик

* Генератор вырабатывает последовательность электрических импульсов на излучатель оптического датчика положения
* Излучатель - светодиод, создающий излучение оптического диапазона.
* Индикатор показывает наличие напряжения питания на передатчике оптического датчика положения.
* Оптическая система формирует диаграмму направленности излучения и при необходимости его поляризацию.
* Компаунд обеспечивает необходимую степень защиты от проникновения твердых частиц и воды. Корпус обеспечивает монтаж выключателя, защищает от механических воздействий. Выполняется из латуни или полиамида, комплектуется метизными изделиями.

Приемник излучения

* Оптическая система формирует диаграмму направленности приемника излучения и при необходимости производит поляризационную селекцию.
* Фотоприемник воспринимает оптическое излучение и преобразует его в электрический сигнал.
* Усилитель усиливает входной сигнал до необходимого значения.
* Пороговый элемент обеспечивает необходимую крутизну фронта выходного сигнала и величину гистерезиса.
* Электронный ключ обеспечивает коммутацию выходного тока датчика, определяет схему подключения нагрузки, имеет защиту от перегрузки и короткого замыкания.
* Светодиодный цветной индикатор показывает состояние датчика, позволяет определить функциональный резерв по выбранному объекту, обеспечивает контроль работоспособности, оперативность настройки.
* Регулятор чувствительности позволяет производить настройку датчика по фактической контрастности объекта на фоне окружающих предметов.

Функциональный резерв определяется как отношение светового потока, полученного приемником, к минимальному световому потоку, вызывающему срабатывание выключателя. Функциональный резерв позволяет компенсировать ослабление сигнала в результате загрязнения оптики и наличия аэрозольных компонентов в окружающем пространстве.

Цветной **светодиодный индикатор** работает следующим образом:

* при отсутствии сигнала на входе приемника индикатор не светится
* при появлении сигнала с уровнем, при котором происходит срабатывание выключателя, индикатор светится зеленым цветом
* при дальнейшем увеличении уровня сигнала зеленый цвет плавно изменяется через желтый - оранжевый до красного

Контрастность объекта определяется его собственным коэффициентом отражения и величиной отраженного света от окружающего фона.

**Принцип работы оптических датчиков положения на прямом луче (Тип T)**

Оптические датчики, работающие на**прямом луче**, состоят из приемника и передатчика, выполненных в отдельных корпусах. При эксплуатации они располагаются соосно дуг против друга. Поток излучения от излучателя передатчика направлен на приемник. Срабатывание происходит при прерывании луча объектом. Датчики использующие принцип прерывания луча, отличаются большой дальностью действия - до нескольких десятков метров и большой помехозащищенностью от воздействия посторонних факторов (пыль, капли воды и других жидкостей)

Основными недостатками таких датчиков является наличие двух отдельных изделий, что не всегда удобно при их монтаже и прокладке проводов питания к ним.

Необходимо иметь в виду, что:

* посторонние предметы с высоким коэффициентом отражения, подобные рефлектору, находящиеся в области перекрытия диаграмм направленностей приемника и передатчика, могут вызвать ложное срабатывание;
* прозрачные и полупрозрачные объекты недостаточно ослабят луч до порога срабатывания.

Для уменьшения или полного устранения вышеперечисленных эффектов оптические выключатели снабжены регуляторами чувствительности.   
Диаметр прямого луча определяет минимальный размер регистрируемого объекта.

**Принцип работы оптических датчиков положения на отраженном луче (Тип D)**

В оптических датчиках, использующих эффект **диффузного и зеркального отражения** потока излучения от объекта, приемник и излучатель выполнены в одном корпусе. Поток излучения от передатчика попадает на поверхность объекта, от которого происходит его отражение в различных направлениях. Распределение отраженного потока определяется оптическими свойствами объекта. Часть потока возвращается обратно в приемник, вызывая его срабатывание.   
Преимущество данного вида датчиков заключается в простоте применения, при котором не требуется никаких дополнительных приборов.   
При использовании датчиков данного типа необходимо учитывать возможность появления ложных срабатываний в случае появления за контролируемым объектом предметов с гораздо большей отражательной способностью. В этих случаях следует применять диффузные оптические датчики с подавлением фона.   
Поскольку различные материалы отражают падающий на них поток излучения по-разному, то для нормирования расстояния срабатывания выбран стандартный объект воздействия - лист белой бумаги с размерами 100x100мм для выключателей с расстоянием срабатывания до 400мм и лист белой бумаги с размерами 200x200мм для выключателей с расстоянием срабатывания более 400мм.

**Принцип работы оптических датчиков положения на отраженном от рефлектора луче (Тип R)**

Излучение светодиода имеет круговую поляризацию, т.е. представляет собой совокупность множества плоскополяризованных пространственных световых колебаний (волн) с различными плоскостями поляризации.   
Если на пути луча установить оптический **поляризационный фильтр**, то через него пройдут только те волны, плоскость поляризации которых совпадает с **плоскостью поляризаци**и фильтра. Таким образом, поляризационный фильтр формирует луч с плоской поляризацией.   
При отражении поляризованного луча от различных предметов плоскости поляризации падающего и отраженного луча, как правило, совпадают.   
Плоскость поляризации изменяется на 90 град. при отражении от специальных световозвращателей (уголковых отражателей или рефлекторов).   
Если на пути поляризованного луча расположить еще один поляризационный фильтр с плоскостью поляризации, развернутой на 90град. по отношению к первому, то луч через него не пройдет. Таким образом, данный фильтр будет для него барьером.

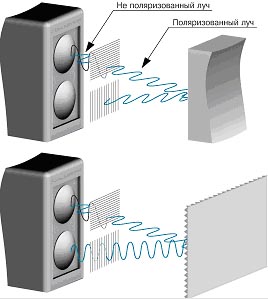
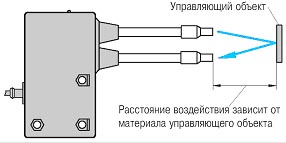


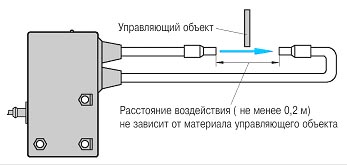
Рис.110. Принцип работы оптических датчиков положения на отраженном от рефлектора луче (Тип R)

Источник: http://www.straus-com.ru/fstore/vb3.jpg

**Принцип работы оптоволоконного датчика**

Выключатели с оптоволоконным кабелем способны обнаруживать объекты в самых труднодоступных местах. Датчики с оптоволоконным кабелем могут работать и на отраженном луче (тип D) и на прямом луче (тип T).





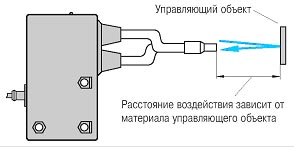


Рис.111. Оптоволоконные датчики

Источник: http://www.straus-com.ru/fstore/vb4.jpg

**Лазерные датчики** обладают высокой надежностью, долговечностью, стабильностью, малыми габаритами, массой и энергопотреблением, совместимостью с микроэлектронными устройствами обработки информации при низкой трудоемкости изготовления и небольшой стоимости.

Подавляющее большинство задач по измерению в промышленности приходится на диапазоны от долей микрон до нескольких десятков метров. При этим датчики должны работать с объектами далекими от идеальных: малого размера, имеющих различный цвет, сложную структуру поверхности и перемещающихся с высокой скоростью. Для таких целей наиболее подходят лазерные датчики положения, работающие по принципу оптической триангуляции.

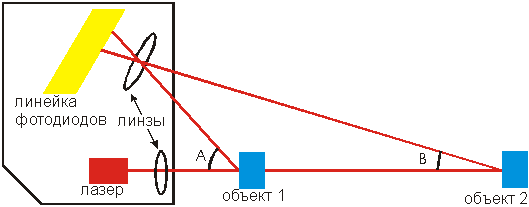


Рис.115.Принцип работы лаэерного оптического датчика положения

Источник: http://t2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQG\_Zle2HSHjr32x04kCsyJRng4No8LJipHOFYG8daYatw4OD-C

Лазер посылает через **линзу** луч, который **отражается** от объекта и фокусируется на **линейке** из фотодиодов, которая прообразует световой сигнал в электрический. Всякое изменение расстояния до объекта вызывает изменение угла отраженного луча и, следовательно, позиции, которую отраженный луч занимает на линейке фотодиодов. Микроконтроллер обрабатывает сигнал от линейки фотодиодов и преобразует его в аналоговый электрический сигнал.

Наиболее важное качество таких датчиков положения состоит в сочетании высокой точности измерения и больших измеряемых расстояниях. Большинство производителей предлагают датчики с разрешением от 1 мкм до 1мм. Однако высокая точность возможна только на относительно коротких расстояниях. Так что, например, точность в 1 мкм на расстояниях в 1 метр получить вряд ли удастся.

Для снижения влияния шумов все лазерные датчики положения позволяют проводить **интегральные** или усредненные измерения - производится множество измерений расстояния до объекта и результат потом усредняется, тем самым повышается **точность измерений**. Однако большая точность требует большого количества измерений, увеличивая при этом общее время измерения. Так, например, что бы обеспечить точность в 1 мкм типичное время измерения составляет порядка 0,1 сек.

Главными преимуществами лазерных датчиков перед другими видами оптических датчиков являются:

* большая дальность срабатывания (гарантировано до 5м и более);
* удобство юстрировки лазерного датчика, это связано с легко заметным световым пятном от лазера;
* защита от засветки (узкий спектр (монохромность) лазерного луча, позволяющий настроить лазерный датчик на срабатывание только от отраженного луча, либо от излучателя);
* работа в импульсном режиме также позволяет увеличить помехозщищенность лазерного датчика.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **"ЖУРНАЛ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ"  N 3, 2009** | [**оглавление**](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/index.html) |  |  |

УДК 53.087;543.27.-8; 544; 621.37;681.2

**СИСТЕМАТИКА, ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДАТЧИКОВ**

**А. А. Егоров  
Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН**

Получена 11 марта 2009 г.

*Представлен обзор различных типов датчиков. Дана их классификация, описаны принципы работы некоторых типов датчиков и области их применения. Особое внимание уделено электрохимическим сенсорам, термисторным сенсорам, биосенсорам и оптическим химическим сенсорам. Рассмотрены фундаментальные явления, лежащие в основе работы оптических химических сенсоров. Описан принцип функционирования интегрально-оптического химического датчика абсорбционного типа. Отмечены возможности применения интегральных оптических датчиков в микроэлектронной промышленности, химической промышленности, медицине и экологии.*

**Ключевые слова:** химический датчик (сенсор), электрохимический сенсор, термисторный сенсор, биосенсор, оптический химический сенсор, интегрально-оптический датчик, лазерное излучение, экологические приборы, обработка данных.

**1.**      **ВВЕДЕНИЕ**

Датчики (сенсоры) позволяют получать, регистрировать, обрабатывать и предавать информацию о состоянии различных систем. Это может быть информация о физическом строении, химическом составе, форме, положении и динамике исследуемой системы. Существуют различные типы датчиков. Принципы их действия базируются на определенных физических или химических явлениях и свойствах. Примерами могут быть широко известные температурные датчики, радары, эхолоты, датчики уровня радиации, датчики давления, гигрометры и др. [[1](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#1)-[18](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#18)].

Успехи в таких областях как лазерная физика, физика твердого тела, микроэлектроника, микропроцессорная техника, Интернет-технологии, материаловедение, квантовая электроника, и интегральная оптика привели к развитию нового направления в разработке датчиков – созданию химических сенсоров [[4](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#4)].

Одним из самых перспективных видов химических сенсоров по нашему мнению являются оптические химические сенсоры [[3](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#3)]. Интегрально-оптические химические датчики являются среди них очень перспективными [[9](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#9)-[12](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#12), [17](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#17), [18](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#18)]. Принцип работы интегрально-оптического химического датчика, например абсорбционного типа, основан на регистрации изменения интенсивности лазерного излучения, взаимодействующего с исследуемой газообразной (газ, пар) или жидкой средой на некоторых длинах волн, характерных для данной среды [[9](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#9)-[12](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#12), [17](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#17), [18](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#18)].

Актуальность и практическая значимость данного обзора обусловлена возможностью обнаружения целого ряда критически важных для безопасности людей газов с помощью различных химических сенсоров. Решение этой проблемы имеет приоритетное значение для электронной промышленности, химической промышленности, нефтегазовой промышленности (добыча, транспортировка, хранение), экологии, медицины, военных технологий и др.

**2.** **СИСТЕМАТИКА ДАТЧИКОВ**

При систематизации датчиков часто рассматривают принцип их действия, который может быть обусловлен физическими или химическими явлениями и свойствами. На рис. 1 приведена обобщенная функциональная схема измерения с помощью химического датчика.

Существует множество явлений, эффектов и видов преобразования энергии, которые могут быть использованы для построения датчиков [[1](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#1)-[21](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#21)]. В [Таблице](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html" \l "table)приведены примеры таких явлений и эффектов (см., например, [[1](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#1)-[4](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#4)]).



**Рис. 1.**Функциональная схема измерения с помощью химического сенсора.

**Таблица.**

|  |  |
| --- | --- |
| ***Эффект, явление, свойство*** | ***Физическая сущность преобразования*** |
| Теплопроводность (тепловая энергия http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text_files/image002.gif изменение физических свойств) | Переход теплоты внутри физического объекта из области с более высокой в область с более низкой температурой |
| Тепловое излучение (тепловая энергия http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text_files/image002.gif инфракрасные лучи) | Оптическое излучение при повышении температуры физического объекта |
| Эффект Зеебека (температура http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text_files/image002.gif электричество) | Возникновение ЭДС в цепи с биметаллическими соединениями при разной температуре спаев |
| Пироэлектрический эффект (температура http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text_files/image002.gif электричество) | Возникновение электрических зарядов на гранях некоторых кристаллов при повышении температуры |
| Эффект фотопроводимости (свет http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text_files/image002.gif электрическое сопротивление) | Изменение электрического сопротивления полупроводника при его облучении светом |
| Эффект Фарадея (свет и магнетизм http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text_files/image002.gif свет) | Поворот плоскости поляризации линейно-поляризованного светового луча, проходящего через парамагнитное вещество |
| Пьезоэлектрический эффект (давление http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text_files/image002.gif электричество) | Возникновение разности потенциалов на гранях сегнетоэлектрика, находящегося под давлением |
| Эффект Доплера (звук, свет http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text_files/image002.gif частота) | Изменение частоты при взаимном перемещении объектов по сравнению с частотой, когда эти объекты неподвижны |
| Химические свойства (информация о химических связях http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text_files/image002.gif сигнал) | Биохимический преобразователь преобразует информацию о химических связях в физическое или химическое свойство или сигнал |

Не претендуя на полноту охвата, дадим некоторую полезную классификацию сенсоров [[1](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#1)-[21](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#21)].

Энергетические свойства входных величин датчиков позволяют разделить их **по виду входных величин** на *активные* и *пассивные*. В активных датчиках входные величины имеют энергетическую природу (напряжение, сила и т. д.), в пассивных же входные величины имеют неэнергетический характер (электрические ёмкость, сопротивление и др.).

**По числу воспринимаемых и преобразуемых величин** можно выделить *одномерные*датчики, оперирующие с одной величиной, и *n-мерные* (*многомерные*), воспринимающие несколько (*n*) входных величин. При этом многомерные сенсоры могут иметь общие элементы и поэтому быть проще совокупности одномерных датчиков, воспринимающих столько же величин.

**По числу выполняемых (измерительных) функций** можно выделить *однофункциональные* и *многофункциональные* датчики. Многофункциональные могут помимо основной функции (восприятие величины и формирование измерительного сигнала) выполнять ряд дополнитель­ных функций.

Многофункциональные датчики иногда называют также *интеллектуальными*. К таким датчикам, в принципе можно отнести *аналоговые* и *цифровые*датчики с суммированием сигналов, с перестраиваемыми адаптивными режимами работы и параметрами, с аналого-цифровым преобразованием, с метрологическим обслуживанием и датчики со встроенными микропроцессорами.

К допол­нительным функциям многофунк­циональных сенсоров можно отнести следующие:

* операции обработки данных и фильтрацию;
* коррекцию погрешностей;
* хранение сигналов;
* преобразование «поля» сигналов в изображение;
* защиту от влияния помех;
* и др.

**По числу преобразований энергии и вещества** датчики можно разделить на *одноступенчатые* и  *многоступенчатые*.

**По технологии изготовления** сенсоры можно разделить на *элементные*, изготавливаемые из набора отдельных элементов, и *интегральные*, в которых все составные элементы датчика изготавливаются одновременно по интегральной технологии.

Особо выделяются биологические датчики, в которых в качестве чувствительных элементов используется рецепторная часть биологических органов чувств, ферменты и другие вещества, а также – электронная часть, формирующая измерительные сигналы.

**По взаимодействию с источни­ками информации** датчики делятся на *контактные* и *бесконтактные* (дистанционного действия).

**По виду измерительных сигна­лов** датчики делятся на *аналоговые*и*цифровые*. Для анализа работы аналоговых и цифровых датчиков должен быть использован соответствующий виду анализируемых сигналов математический аппарат.

В настоящее время существует тенденция увеличения числа и усложнения функций, выполняемых сенсорами. Особенно это характерно для интегральных датчиков, которые могут включать в свой состав дополнительные устройства. Такие датчики способны служить основой для создания измерительных систем, позволяющих осуществлять сбор, обработку, хранение и распределение информации (см., например, [2, 12]).

К современным датчикам предъявляются следующие основные требования:

* высокие качественные характеристики: чувствительность, точность, линейность, воспроизводимость показаний, скорость отклика, взаимозаменяемость, отсутствие гистерезиса и большое отношение сигнал-шум;
* высокая надежность: длительный срок службы, устойчивость к внешней среде, безотказность в работе;
* технологичность: малые габариты и масса, простота конструкции, интегральное исполнение, низкая себестоимость.

Основное внимание в дальнейшем уделим различным типам химических сенсоров. Внимание к химическим сенсорам продиктовано рядом причин, среди которых проблемы безопасности являются сейчас наиболее актуальными.

**3.** **ХИМИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ**

**3.1. Некоторые этапы развития химических датчиков**

К настоящему времени разработано огромное количество самых разнообразных химических датчиковhttp://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text_files/image003.gif. Началом истории химических датчиков можно считать конец XIX – начало XX века. В это время появился прообраз катарометра (1880 г.), который использовался для определения содержания водорода в водяном паре; двухэлектродная ячейка Кольрауша (1885 г.), металлические электроды Нернста (1888 г.) и стеклянный электрод Кремера (1906 г.). В конце XIX – начале XX вв. под сенсорами (слово «сенсор» от английского слова *sense* – чувство, ощущение) понимали портативные устройства для определения химического состава среды. Типичная конструкция сенсора включала чувствительный элемент и преобразователь [4].

В то время процедура стандартно­го химического анализа представляла собой многостадийный процесс, основанный на химических реакциях. Таким образом, химический анализ был тогда в полной мере «химическим». А уже в первых сенсорах использовались физи­ческие и физико-химические процессы.

Следующий этап в развитии химических сенсоров связан с появлением проточных методов анализа. В 50-х годах XX в. аналитическое приборостроение достигло такого уровня, что стало возможным создание проточных методов анализа. В 1952 г. Мартином и Джеймсом был предложен газовый хроматограф. Во всех случаях появилась острая необходимость в детекторах – приборах, которые позволили бы в автоматическом режиме определять концентрацию вещества в потоке газа или жидкости.

Следующим важным моментом в развитии сенсорного анализа можно считать предложение Бергфелда объединить чувствительную мембрану с затвором полевого транзистора. Это предложение привело к появлению ионоселективного полевого транзистора. Кроме того, появились перспективы того, что планарная технология, развитая в микроэлектронике, приведет к созданию и массовому производству дешевых сенсоров.

Миниатюрность и относительно небольшие размеры датчиков позволяет создавать  их наборы в небольшом объеме. Так, на одном полупроводниковом кристалле можно разместить несколько чувствительных элементов или в небольшом объеме несколько самостоятельных сенсоров. Таким образом, появилась возможность создания «лаборатории на чипе», снабженной микропроцессором для обработки результатов анализа (см., например, [4]).

**3.2. Устройство и принципы работы химических сенсоров**

Химические сенсоры представляют собой датчики, в которых два типа преобразователей – химический и физический – находятся в тесном контакте между собой.

*Химический преобразователь* состоит из слоя чувствительного материала, который формирует селективный отклик на определяемый компонент: он способен отражать присутствие определяемого компонента и изменение его содержания.

*Физический преобразователь* – трансдьюсер – преобразует энергию, которая возникает в ходе реакции селективного слоя с определяемым компонентом, в электрический или световой сигнал. Этот сигнал затем измеряется с помощью светочувствительного и/или электронного устройства.

Химические сенсоры могут работать на принципах химических реакций и на физических принципах. В первом случае аналитический сигнал обусловлен химическим взаимодействием определяемого компонента с чувствительным слоем, который выполняет функцию преобразователя. Во втором случае измеряется физический параметр (коэффициент поглощения или отражения света, масса, проводимость и др.).

Для повышения избирательности на входном устройстве перед химически чувствительным слоем размещаться мембраны, которые селективно пропускают частицы определяемого компонента (ионообменные, гидрофобные и другие пленки). При этом определяемое вещество диффундирует через полупроницаемую мембрану к тонкому слою селективного слоя, в котором формируется аналитический сигнал на компонент.

На основе химических сенсоров разрабатываются сенсорные анализаторы, которые представляют собой приборы для определения какого-либо вещества в заданном диапазоне его концентраций. Заметим, что к химическим сенсорам относятся также биосенсоры.

В зависимости от характера отклика (первичного сигнала), возникающего в чувствительном слое химических сенсоров, их подразделяют на следующие типы:

* электрохимические (потенциометрические, кулонометрические и др.);
* электрические (полупроводниковые на основе оксидов металлов и др.);
* магнитные (датчики Холла, магниторезистивные полупроводниковые элементы и др.);
* термометрические;
* оптические (люминесцентные, спектрофотометрические и др.);
* биосенсоры (на основе различного биологического материала: ферментов, тканей, бактерий, антигенов, рецепторов и др.);
* и др.

Остановимся кратко на работе некоторых типов электрохимических сенсоров, термисторных сенсоров, биосенсоров и интегрально-оптических химических сенсоров.

**3.3. Электрохимические сенсоры**

В электрохимическом сенсоре определяемый компонент реагирует с чувствительным слоем непосредственно на электроде или в объеме слоя раствора около электрода. Среди электрохимических сенсоров выделяют следующие:

– потенциометрические,

– амперометрические,

– кондуктометрические,

– кулонометрические.

*Потенциометрические сенсоры* основаны на ионоселективных электродах, которые дают селективный отклик на присутствие определяемых ионов или молекул веществ в растворах. Аналитическим сигналом в них является потенциал, который образуется на поверхности твердого материала, помещенного в раствор, содержащий ионы, которые могут обмениваться с поверхностью. Величина потенциала связана с количеством ионов в растворе. Измерить поверхностный потенциал непосредственно невозможно, однако его можно измерить, используя соответствующую электрохимическую ячейку. В этом и заключается суть потенциометрического метода.

Следует отметить, что для измерения потенциала ячейки необходим нулевой ток. Практически, такое условие недостижимо, поскольку сам процесс измерения потенциала предполагает наличие небольшого тока. Но поскольку сила тока здесь находится в микроамперном диапазоне, то она незначительно искажает равновесный потенциал на поверх­ности. Таким образом, предположение о том, что потенциал измеряется по существу в условиях нулевого тока, достаточно корректно.

Существуют различные виды ионоселективных электродов. Их классификация основа­на на различии селективных химических реакций**,**приводящих к образованию межфазного потенциала. Специфическое распознавание потенциометрическим химическим сенсором достигается благодаря химической реакции на поверхности сенсора. Таким образом, поверхность электрода должна содержать реагент, который химически и обратимо взаимодействует с аналитом. Это достигается благодаря использованию ионоселективных мембран, которые представляют собой поверхность сенсора. В потенциометрических сенсорах используются четыре типа мембран:

– *Стеклянные мембраны.*Такие мембраныселективны по отношению к таким ионам, как Н+, Na+ и NH4.

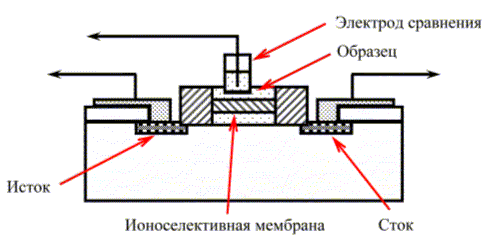
– *Мембраны из плохо растворимых неорганических солей.*Кмембранам этого типа относятся монокристаллические органической соли, например LaF3, или диски из спрессованного порошка неорганической соли или смеси солей, например, Ag2S/AgCl. Эти мембраны селективны по отношению к таким ионам, как F-, S2- и Сl-.

– *Полимерные мембраны с иммобилизованным ионофором.*В этих мембранах ионоселективные комплексообразующие соединения или ионообменники иммобилизова­ны в полимерной матрице, например, в поливинилхлоридной.

– *Мембраны с иммобилизованными в геле или хими­чески связанными с гелем ферментами.*В мембранах этого типа используются высокоспецифичные реакции, катализируемые ферментами. Фермент содержится внутри матрицы или химически прививается на твердой поверхности.http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text_files/image004.gifhttp://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text_files/image005.gif

Бла­годаря достижениям в области микроэлектроники были разработаны ионоселективные полевые транзисторы. Они представляет собой видоизмененный полевой транзистор с изолированным затвором.

Основная часть ионоселективного полевого транзистора – это полупроводник *р*-типа, в котором есть два участка, которые представляют собой полупроводники *n*-типа, называемые, соответственно, истоком и стоком (рис. 2). На поверхность полупроводника наносится металлооксидный изолятор, на который затем вместо металла затвора полевого транзистора наносят ионоселективную мембрану. Сила тока, проходящего между истоком и стоком, определяется входным напряжением.



**Рис. 2.**Ионоселективный полевой транзистор.

Исследуемый раствор с погруженным в него электродом сравнения контактирует с ионоселективной мембраной, что приводит к возникновению на поверхности мембраны потенциала, который является входным потенциалом, контролирующим силу тока между стоком и истоком. Сила тока зависит от мембранного потенциала, который, таким образом, зависит от активности определяемых ионов в исследуемом растворе. Такие устройства чрезвычайно малы (< 1 мм2) и широко используются  для определения разнообразных веществ.

*Вольтамперометрия*. Данный метод заключается в измерении силы тока в электрохимической ячейке как функции приложенного потенциала.

Многие вещества окисляются или восстанавливаются при определенном потенциале, который характерен именно для данного вещества. Если потенциал зафиксирован на величине, соответствующей окислению или восстановлению определяемого вещества, то сила тока прямо связана с его концентрацией. На этом принципе основано действие амперометрических электрохимических сенсоров.

Например, для измерения концентрации растворенного в воде кислорода используют кислородный амперометрический датчик. В данном датчике есть золотой или платиновый катод, отделенный от серебряного анода пластиковой оболочкой. Газопроницаемая мембрана, которая располагается на внешней стороне нижней поверхности электрода, пропускает внутрь молекулы небольшого размера. При погружении датчика в исследуемый образец воды молекулы кислорода диффундируют в тонкую пленку электролита, контактирующую с электродами. На катоде поддерживают потенциал -800 мВ относительно серебряного анода, и молекулярный кислород восстанавливается в соответствии с уравнением:

http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text_files/formula1.gif                                                   (1)

Проходящий через ячейку ток измеряют и по его величине определяют концентрацию растворенного кислорода. Такой датчик необходимо калибровать, используя стандартные растворы с известной концентрацией растворенного кислорода.

Селективность амперометрических химических сенсоров определяется главным образом природой материала поверхности электрода, а, следовательно, и величиной потенциала, при котором происходят электрохимические реакции с участием анализируемого компонента.

Для повышения селективности отклика поверхность химических сенсоров модифицируют с помощью специальных соединений, которые осуществляют перенос электронов между электродом и определяемым компонентом. Операция закрепления модификатора-переносчика на поверхности химического сенсора называется иммобилизацией. При этом модификатор перестает быть подвижным, не вымывается анализируемым раствором и может работать в потоке жидкости. Модификация электродов для химических сенсоров удлиняет срок их службы.

Чувствительность амперометрических электрохимических сенсоров, как правило, выше потенциометрических.

*Кондуктометрические сенсоры*. Их действие основано на измерении электропроводности растворов. Такие электрохимические сенсоры используют, в частности, для определения концентрации CO2 в воздухе. В этом случае измеряется электропроводность водного раствора углекислоты, в котором, как правило, в результате ее диссоциации образуются ионы H+ в количествах, зависящих от парциального давления CO2 в воздухе. Различие в электропроводности между «холостым» раствором (без CO2) и анализируемым (с CO2) фиксируется как аналитический сигнал.

*Кулонометрические сенсоры*. В основе работы этого типа электрохимических сенсоров лежит зависимость тока, протекающего через электрохимическую ячейку при контролируемом расходе анализируемого газа подающего на катод, от концентрации кислорода (при условии практически полной откачки кислорода из потока). Они менее известны, однако в ряде случаев точность измерения ими выше других видов электрохимических химических сенсоров.

В заключение данного параграфа следует отметить, что разработано несколько типов потенциометрических и амперометрических сенсоров аммиака на основе микроорганизмов [21]. Типичный аммиачный микробный сенсор состоит из иммобилизованных бактерий, газопроницаемой тефлоновой мембраны и кислородного электрода. Зависимость между уменьшением тока и концентрацией аммиака линейна вплоть до концентрации 42 мг/л. Нижняя граница определяемых концентраций составляла 0,1 мг/л. Чувствительность микробного сенсора была примерно равна чувствительности стеклянного электрода. Сенсор не реагировал на летучие соединения, такие как уксусная кислота, этанол и амины, или нелетучие питательные вещества, такие как глюкоза, аминокислоты и ионы металлов. Выходной ток сенсора был стабилен в течение более 10 дней при проведении 200 анализов.

**3.4. Термисторные сенсоры**

Термистор представляет собой устройство для измерения изменений температуры. В основе его действия лежит явление уменьшения электрического сопротивления (приблизительно 4-7%/°С) оксидов металлов (ВаО/СаО, оксид переходного металла), сплавленных при высокой температуре.

Термисторы полезны для измерения температур с точностью ±0.005°С. Они могут быть разного размера и формы, но для сенсора наиболее удобен термистор в виде шарика, покрытого стеклянным защитным слоем.

Сопротивление и температуру обычно измеряют с помощью мостика Уинстона, служащего для измерения сопротивления.

Высокая чувствительность к малым изменениям температуры, которой отличаются термисторы, может быть использована для определения малых количеств теплоты, которые выделяются в ходе химической реакции. Именно так термисторы используются в микрокалориметрии, когда химические реакции изучаются в объемной фазе раствора. В применении к сенсорам требуется селективность по отношению к определяемому веществу, что достигается в результате проведения химической реакции на поверхности термистора или вблизи от нее.

Существует два основных подхода к использованию термисторов в калориметрических сенсорах. В соответствии с одним термистор помещают в ячейку детектора для измерения температурных изменений, после того как раствор аналита пропускают через слой иммобилизованного фермента. Хотя такую детекторную систему и можно приспособить для определения нескольких аналитов, для этого нужны значительные количества фермента. Второй подход заключается в иммобилизации фермента непосред­ственно на поверхности термистора. В этом случае сенсор может быть миниатюрным и его можно поместить в проточную аналитическую систему. Рассмотрим для примера два типа термисторных химических сенсоров.

*Каталитические газовые сенсоры*

Каталитические газовые сенсоры широко используются для определения горючих газов (метана, этана, пропана, угарного газа и водорода) и паров (бензина, органических растворителей) в воздухе.

Принцип  их действия заключается в контролируемом сжигании горючего газа в воздухе и измерении количества выделяющегося при этом тепла. В целях ускорить получение отклика используют катализаторы. Таким образом, для каталитического газового сенсора нужны нагреватель для поддержания температуры, достаточной для сжигания газа, катализатор окислительного процесса и устройство для измерения теплоты сгорания. Обычно в качестве нагревателя используют спираль из проволоки, а зависимость сопротивления этой проволоки от температуры используют для измерения выделяющегося тепла [[2](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#2), [4](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#4)].

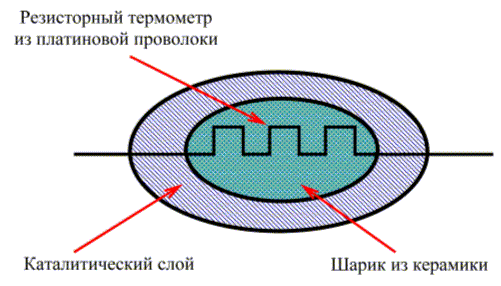
В первом каталитическом газо­вом сенсоре применялась платиновая спираль, которую нагревали, пропуская через нее ток, до температуры горе­ния газа на поверхности платины. Выделение тепла приводило к нагреванию спирали и, следовательно, к увеличению ее сопротивления. По изменению темпера­туры определялось количество сгоревшего газа.

Как катализатор, платина проигрывает другим метал­лам, таким как палладий и родий: при использо­вании платины нужны гораздо более высокие температу­ры (1000°С), что приводит к существенной потере плати­ны и уменьшению толщины проволоки.

Потребность в других формах каталитических газовых сенсоров привела к созданию пеллисторов. Пеллистор представляет собой газовый сенсор, основанный на том же принципе, что и предыдущий, то есть в нем тоже использована платиновая спираль в качестве нагревающего элемента и резистивный термометр в качестве температурного датчика. Отличие заключается в том, что качестве катализатора в этом случае используют палладий в виде тонкоизмельченного порошка, что позволяет увеличить площадь поверхности и существенно повысить эффективность катализатора. Таким образом, катализатор окисления в этом сенсоре гораздо эффективнее [[4](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#4)]. Это позволяет применять сенсор при температурах около 500°С, то есть для определения углеводородов типа метана.

Схема пеллистора представлена на рис. 3. Платиновая спираль в этом сенсоре заключена в огнеупорный шарик размером около 1 мм. Поверхность шарика покрыта слоем тонкодисперсного палладия в матрице из оксида тория [[4](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#4)].

Электроника для измерительных систем может действовать в режиме обратной связи. В этом случае ток для нагревания платиновой проволоки уменьшают в целях компенсировать рост температуры, вызванный горением. При этом сила токаhttp://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text_files/image008.gifhttp://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text_files/image009.gifhttp://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text_files/image005.gif является измеряемым параметром, свя­занным с изменением температуры, вызванным горением газа, и, следовательно, с количеством газа.



**Рис. 3.**Схема пеллистора.

Проблемой использования газовых сенсоров является то, что они подвержены отравляющему действию других газов, что ведет к потере селективности сенсоров. Для решения этой проблемы разрабатываются пеллисторы и сенсорные системы с более низкой восприимчивостью по отношению к отравляющим сенсоры веществам.

Наилучшим выходом оказалась конструкция пеллистора, в которой платиновую спираль окружает пористый алюминиевый шарик, содержащий большое количество тонко измельченного катализатора. В этом случае доступная площадь поверхности катализатора существенно повышается, но зато падает механическая прочность пеллистора по сравнению с предыдущей конструкцией.

Вся аппаратура, относящаяся к газовым термисторным сенсорам, достаточно проста и портативна, поэтому обычно использу­ют прибор карманного размера. Для газовых сенсоров характерен относительно быстрый отклик: результат можно получить уже через 20 секунд [[4](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#4)].

*Сенсор по теплопроводности*

Действие этого типа сенсоров, в отличие от термисторных и каталитических, не связано с химическими реакциями, протекающими на поверхности сенсора. В основе их действия – измерение теплопроводности газов.

Одним из элементов данного типа сенсоров является металлическая нить, сделанная из вольфрама, сплава вольфрам/рутений или никель/железо. Нить нагревают до температуры около 250°С. Тепло ее рассеивается в окружающей среде, при этом на этот процесс влияет теплопроводность газа. Теплопроводность газов изменяется  в очень широких пределах, и температура проволоки будет изменяться в соответствии с природой и кон­центрацией газа. Изменение температуры нити можно зафиксировать по изменению ее сопротивления, так же, как и для других калориметрических сенсоров [[2](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#2), [4](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#4)].

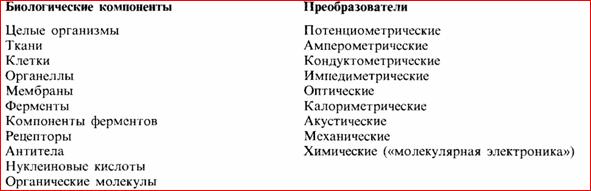
Уже многие годы такие сенсоры успешно используют в качестве детекторов газовой хроматографии и в качестве газовых сенсоров в промышленности.

Сенсоры по теплопроводности используются в случа­ях, когда ожидаемая концентрация газа относительно высока. Поскольку их действие не зависит от протекания химической реакции, их можно использовать в среде инертных газов, например, для мониторинга содержания горючих газов в сосудах, после того как они были заполнены азотом. Еще их можно использовать для определения самих инертных газов, таких, как азот, гелий, аргон и двуокись углерода. Таким образом, у сенсоров теплопроводности своя собственная область применения, отличающаяся от области применения каталитических газовых сенсоров, но вместе с тем дополняющая ее.

**3.5. Биосенсоры**

*Биосенсор* – это устройство, включающее биологический чувствительный элемент, тесно связанный с преобразователем либо интегрированный с ним [[21](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#21)]. Биосенсор служит для формирования цифрового электрического сигнала, пропорционального концентрации определенного химического соединения или ряда соединений. Эта связь двух противоположных дисциплин позволила объединить специфичность и чувствительность биологических систем с вычислительной мощью компьютера. Бурно развивающаяся в последние годы биосенсорная техника уже сейчас предлагает новые эффективные средства, которые предсказывают радикальное изменение нашего подхода к классическому химическому анализу.

Современная концепция биосенсора в значительной степени связана с идеями Лиланда Кларка-младшего и соавторов, развитыми в 1962 г. Авторы предположили, что если бы ферменты можно было иммобилизовать на электрохимических датчиках, то такие «ферментные электроды» расширили бы диапазон аналитических возможностей базового датчика. Последовавшая затем активная работа постепенно раздвинула горизонты данной области. Ее нынешнее состояние в какой-то степени характеризуют перечисленные ниже потенциальные чувствительные элементы и преобразователи, которые можно использовать при конструировании биосенсоров [[2](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#2), [4](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#4),[21](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#21)]:



В реальных же сенсорах пока используют не все возможные комбинации этих элементов. Развитие биосенсоров обусловлено усилиями исследователей в нескольких направлениях. В основу описанных к настоящему времени конфигураций биосенсоров положено принципиально новое объединение хорошо известных ранее и не связанных друг с другом подходов [[21](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#21)]. В будущем для удовлетворения специфических требований, по-видимому, большее внимание будут уделять инженерной проработке как всего прибора в целом, так и его компонентов. При этом могут потребоваться новые биохимические реакции и усовершенствование известных реакций, например, с помощью генной инженерии и химических методов. Биосенсоры будут проектировать вместе с подходящим детектором, а не привязывать к случайным результатам предыдущих работ.

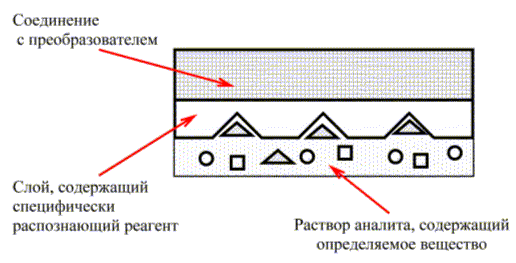
Итак, под термином *биосенсор* понимают устройство, в котором чувствительный слой содержит биологический материал: ферменты, ткани, бактерии, дрожжи, антигены/антитела, липосомы, органеллы, рецепторы, ДНК. Этот слой непосредственно реагирует на присутствие определяемого компонента и генерирует сигнал, зависящий от концентрации этого компонента.

Конструктивно биосенсор аналогичен остальным видам химических сенсоров и состоит из двух преобразователей (биохимического и физического) находящихся в тесном контакте друг с другом. При этом биохимический преобразователь, или биотрансдьюсер, выполняет функцию биологического элемента распознавания, преобразуя определяемый компонент, а точнее, информацию о химических связях в физическое или химическое свойство или сигнал, а физический преобразователь позволяет зарегистрировать этот сигнал. Наличие в устройстве биоматериала с уникальными свойствами позволяет с высокой селективностью определять нужные соединения в сложной по составу смеси, не прибегая к дополнительным операциям, связанным с использованием других реагентов.

В качестве трансдьюсеров могут быть использованы любые из упомянутых в данной статье: электрохимические, спектроскопические, термические, пьезоэлектрические, на поверхностных акустических волнах и интегрально-оптические.

Действие биосенсоров основано на важнейших химических реакциях живых организмов: реакции антитело/антиген, фермент/субстрат, рецептор/гормон. Такие реакции используются для получения высоко селективных и чувствительных биосенсоров на конкретные определяемые вещества. Для иллюстрации высокоселективных реакций, протекающих между биологическими молекулами, предложен механизм, получивший название «ключ-замок».

Для объяснения принципа действия биосенсоров часто используют схему, представленную на рис. 4. Эта схема достаточно универсальна и применима к любым ти­пам сенсоров, в которых реагент обладает сродством к индивидуальному веществу. Для иллюстрации высокоселективных реакций, протекающих между биологическими молекулами, предложен механизм, получивший название «ключ замок».



**Рис. 4.** Биосенсор.

В биосенсорах узнающим реагентом обычно является макромолекула, иммобилизованная внутри мембраны, либо химически связанная с поверхностью, которая контактирует с раствором определяемого вещества. Между реагентом и определяемым веществом проходит специфическая химическая реакция. Это может быть либо прямое взаи­модействие реагента с определяемым веществом, как в слу­чае реакции антиген/антитело, либо каталитическое вза­имодействие иммобилизованного фермента с определяе­мым веществом с образованием легко определяемого продукта.

Большой интерес, например, представляют биосенсоры на основе иммобилизованных на мембране микроорганизмов, служащих элементом так называемого микробного сенсора [[21](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#21)]. В частности, амперометрический сенсор на аммиак на основе иммобилизованных нитрифицирующих бактерий и кислородного электрода Кларка используется при решении вопросов охраны окружающей среды.

Следует отметить, что в последнее время стал активно развиваться и применяться лихеноиндикационный мониторинг состояния воздушной среды [[15](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#15)]. Методы лихеноиндикации основаны на индивидуальной реакции различных видов лишайников к действию загрязнителей атмосферы. Растянутая во времени ответная реакция данных организмов-биоиндикаторов даже на микродозы загрязнителей, проявляющаяся в морфологических изменениях, смене видового состава и невысокая собственная изменчивость обуславливают их широкое использование в качестве биоиндикаторов состояния воздуха. Результаты лихеноиндикационных исследований дают интегральную оценку степени загрязненности воздуха за длительный промежуток времени и могут служить хорошим дополнением к санитарно-гигиенической оценке условий среды обитания. Лишайники очень чувствительны к химическим загрязнениям и могут быть хорошими индикаторами состояния окружающей среды как сами по себе, так и в качестве некоторого чувствительного элемента биосенсоров.

Если принять во внимание все разнообразие ферментов, присутствующих и действующих в живых организмах и являющихся потенциальными биологическими преобразователями, то существующее сегодня число конструкций биосенсоров может быть увеличено в десятки и даже сотни раз. Основные трудности связаны с градуировкой биосенсоров и надежностью их показаний. Для улучшения последнего показателя, в частности, может быть использована мультисенсорная система, состоящая из ряда биочипов.

В целом метрологические характеристики биосенсоров вполне приемлемы. Относительное стандартное отклонение определяемой концентрации не хуже 10-12%, при этом нижняя граница определяемых содержаний достигает 10-10-10-15 моль/л. Некоторые биосенсоры работают по принципу «да-нет», что приемлемо, в случае определения присутствия ультра малых количеств высокотоксичных веществ в объектах окружающей среды. Если определяемые компоненты находятся в сложной смеси или матрице, или близки по своим свойствам, то при анализе используются хроматографические методы разделения.

Отметим, что биосенсоры широко используются не только в химии, но также в биотехнологии, медицине и экологии. Перспективно их применение в электронной промышленности и системах безопасности, например, на транспорте (в первую очередь – на авиатранспорте), в угольной промышленности и др. Многочисленные аварии, катастрофы и теракты последних лет настоятельно требуют ускоренного внедрения перспективных научных разработок в критически важных областях жизни.

**3.6. Оптические химические сенсоры**

Оптические химические сенсоры являются одной из важнейших категорий химических сенсоров. В зависимости от типа оптических сенсоров их действие основано на следующих принципах [[3](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#3)-[6](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#6), [9](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#9)-[12](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#12), [14](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#14), [16](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#16), [17](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#17)]:

         поглощения света (абсорбция);

         отражения первичного (падающего) светового потока;

         люминесценции.

При этом используются зависимости оптических свойств сред (коэффициентов преломления, отражения и др.) от концентраций определяемых веществ.

Рассмотрим фундаментальные явления, лежащие в основе действия оптических химических сенсоров.

*Абсорбция.* Способность вещества *поглощать*оптическое излучение зависит от строения атомов (молекул), а также от агрегатного состояния вещества, его концентрации, толщины слоя, длины волны и других факторов.

Основные законы поглощения оптического излучения, на которых основано применение эффекта абсорбции для исследования и анализа вещества – закон Бугера-Ламберта и закон Бера [[11](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#11), [12](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#12), [14](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#14), [16](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#16)].

Согласно первому закону, если среда однородна и ее слой толщиной *l* перпендикулярен монохроматическому световому потоку с интенсивностью *I*0, то интенсивность *I* прошедшего света определяется по формуле:

http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text_files/image013.gif.                                                        (2)

В формуле (2) http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text_files/image014.gif – коэффициент поглощения, который для данного вещества зависит от длины волны *λ* падающего монохроматического излучения. В тех случаях, когда нельзя пренебречь рассеянием света, необходимо учитывать его вклад в суммарное ослабление http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text_files/image015.gif интенсивности прошедшего через среду света: http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text_files/image016.gif.

По закону Бера каждая молекула (или атом) поглощает одинаковую часть падающего излучения, поэтому поглощение пропорционально числу частиц поглощающего вещества *N*:

http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text_files/image017.gif,                                                                (3)

где *N* – концентрация определяемого вещества; *σ* – сечение поглощения определяемого вещества на данной длине волны падающего излучения http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text_files/image018.gif.

Если оба закона выполняются, то справедлив объединенный закон Бугера-Ламберта-Бэра:

http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text_files/image019.gif.                                                         (4)

В случае изменения концентрации http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text_files/image020.gif исследуемого вещества вдоль пути распространения светового излучения, в расчетах используется закон Бугера-Ламберта-Бэра в интегральной форме [[18](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#18)]:

http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text_files/image021.gif,                                                  (5)

где*P* и *P*0 – мощность светового излучения на выходе сенсорной ячейки в присутствии и отсутствии исследуемого вещества, соответственно; *L* – толщина слоя исследуемой среды (соответствует, например, длине сенсорной ячейки); http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text_files/image022.gif – распределение концентрации определяемого вещества вдоль оси *z* (вдоль которой распространяется лазерное излучение).

*Отражение.* При падении потока света на границу раздела двух сред часть его излучения отражается обратно. При этом характер отражения зависит от свойств сред и размеров неровностей на границе раздела этих сред. Интенсивность  отраженного света определяется электронным строением атомов, молекул и ионов в поверхностном слое вещества, процессами поглощения и многократного рассеяния в нем, а также зависит от длины волны падающего света, т.к. http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text_files/image023.gif в (2)-(5) может завесить от http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text_files/image018.gif. Это позволяет использовать эффект отражения для исследования состава и строения поверхностных слоев твердого тела и мутных сред, а также идентифицировать адсорбированные соединения.

Для исследования тонких пленок используется метод нарушенного полного внутреннего отражения, основанного на отражении, например, ИК-излучения на границе двух сред, находящихся в оптическом контакте (на расстоянии порядка действия молекулярных сил). В этом случае вещество поглощает свет характеристических длин волн и отражает в остальной части спектра.

*Люминесценция*. Это явление представляет собой свечение вещества, возникающее после поглощения им энергии возбуждения, и является избыточным излучением  по сравнению с тепловым излучением тела при данной температуре.

*Фотолюминесценция*, источником которой является свет, имеет наибольшее значение для определения состава среды. Фотолюминесценцию характеризуют спектрами поглощения и люминесценции, поляризацией, энергетическим выходом (отношение энергии, излучаемой веществом в виде люминесценции к поглощенной энергии), квантовым выходом (отношение числа излученных квантов к числу поглощенных) и кинетикой.

Наиболее широко применяют анализ, основанный на фотолюминесценции возбуждаемой УФ-излучением, источником которого служат ртутно-кварцевые и ксеноновые лампы, а также – лазеры. Регистрация люминесценции производится визуально и фотоэлектрическим способом (с помощью спектрофотометра). Характеристики фотолюминесценции позволяют сделать выводы о присутствии в исследуемых образцах определенных веществ и их концентрации. Количественный анализ основан на зависимости интенсивности люминесценции от количества люминесцирующего вещества.

Чаще всего оптические химические сенсоры классифицируются в зависимости от типа принципов их действия: датчик поглощения, датчик отражения, датчик люминесценции, комбинированный датчик и др.

*Строение оптических химических сенсоров*. В оптических химических сенсорах работающих на физических принципах аналитический сигнал обусловлен не химическим взаимодействием определяемого компонента с чувствительным слоем, который выполняет функцию преобразователя, а измеряемым физическим параметром: интенсивностью поглощения, отражения или люминесценции света и т.д.

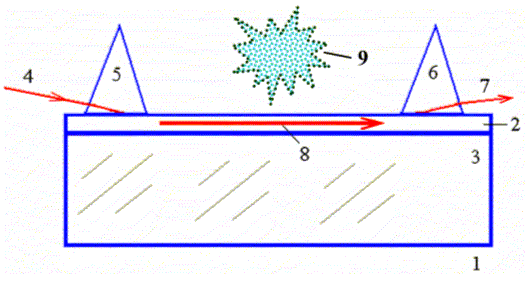
*Оптоволоконный сенсор* обычно выполнена из кварцевого стекла, пластика или стекла и окружен оптическим изолятором – оболочкой, имеющей более низкий показатель преломления, чем сердцевина. Пластиковые и стеклянные волокна гораздо дешевле, чем волокна из кварцевого стекла, однако область применения кварцевых волокон суще­ственно шире: они могут быть использованы в ультрафиолетовой области спектра, там, где остальные материалы поглощают излучение.

Используют как одиночные оптические волокна, так и пучки из многих оптических волокон. Оп­тические волокна позволяют осуществить передачу оптических сигналов на очень большие расстояния и, следовательно, идеальны дня тех случаев, когда объект анализа удален от исследователя. Кроме того, их можно изогнуть (однако угол изгиба не должен быть слишком острым), а поэтому их можно использовать в самых разнообразных оптических светочувствительных устройствах, таких, как проточные ячейки для непрерывного мониторинга.

*Интегрально-оптический сенсор*. Интегрально-оптические химические датчики по-нашему мнению являются наиболее перспективными среди оптических химических сенсоров [[9](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#9)-[12](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#12), [17](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#17), [18](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#18), [19](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#19)]. Принцип работы интегрально-оптических химических датчиков абсорбционного типа основан на регистрации изменения интенсивности лазерного излучения волноводной моды, распространяющейся через исследуемую газообразную или жидкую среду (находящуюся рядом с датчиком), на длинах волн, характерных для данного вещества.

На рис. 5 схематически показан поперечный разрез простого трехслойного интегрально-оптического тонкопленочного волноводного химического сенсора. Он образован тремя средами: воздухом 1, пленкой 2 и подложкой 3 с показателями преломления сред http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text_files/image024.gif, http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text_files/image025.gif и http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text_files/image026.gif соответственно. Для обеспечения направляющих свойств показатели преломления http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text_files/image027.gif сред волновода выбираются из условия: http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text_files/image025.gif > http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text_files/image026.gif > http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text_files/image024.gif.

В оптико-лучевом приближении лазерное излучение, введенное в регулярный волновод, распространяется вдоль волновода в виде плоских волн, двигающихся по зигзагообразному пути и испытывающих полное внутреннее отражение на границах волновода [[9](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#9)-[12](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#12), [14](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#14), [16](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#16)-[19](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#19)]. Оптическая энергия моды не ослабевает в результате интерференции волн отраженных на границах волновода, если полное изменение фазы в вертикальном направлении кратно 2*π*. В этом случае говорят, что выполнено резонансное условие. Напряженность поля волноводной моды в волноводном слое 2 имеет синусоидальное распределение, а в средах 1 и 3 экспоненциальное. Обычно используются локализованные ТЕ-моды, поле которых экспоненциально затухает в воздухе и подложке по мере удаления от волноводного слоя 2.



**Рис. 5.** Интегрально-оптический волноводный химический сенсор.

Оптическая волноводная сенсорная ячейка образована средами 1–3: 1 – покровный слой (воздух), 2 – волноводный слой (пленка); 3 – подложка; 4, 7 – вводимое и выводимое излучение лазера; 5, 6 – призмы ввода и вывода лазерного излучения; 8 – направляемая волноводная мода; 9 – исследуемая среда.

Если рядом с волноводом  в воздухе (на границе раздела сред 1-2) появится газ 9 (или другая исследуемая среда, например, пар, жидкость), у которого есть характерная линия поглощения, совпадающая с длиной волны лазерного излучения, то будет наблюдаться затухание мощности волноводной моды. Именно этот эффект и лежит в основе работы интегрально-оптического химического датчика абсорбционного типа.

Волноводный слой 2 может изготавливаться из полистирола, желатины и ряда других оптически прозрачных материалов. Например, слой из Та2О5 наносится на подложку с помощью катодного распыления. Интегрально-оптический датчик может быть создан на основе диффузного волновода, изготовленного легированием PbO2 в стеклянную подложку. Толщина пленки (волноводного слоя 2), как правило, сравнима с длиной волны монохроматического света http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text_files/image018.gif и в видимом диапазоне обычно не превышает 1-5 микрометров.

Подложка 3 волновода обычно представляла собой пластинку толщиной несколько миллиметров, например, сделанную из стекла с высокой чистотой обработки поверхности (среднеквадратичная величина шероховатости поверхности менее 100 Å). Длина сенсорной ячейки интегрально-оптического химического датчика определяется расстоянием между вводом и выво­дом излучения через призменные устройства свя­зи и может варьироваться от нескольких миллиметров до метров [[9](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#9)-[12](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#12)]. Для ввода и вывода лазерного излучения используются призмы с показателем преломления большим, чем у сред 1-3 образующих волновод.

На рис. 6 приведена схема интеллектуальной цифровой измерительной системы, использованной для проверки детекторных способностей интегрально-оптического химического датчика на основе диффузного волновода, изготовленного легированием PbO2 в стеклянную подложку [[12](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#12), [17](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#17), [18](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#18)]. В качестве источника когерентного излучения использовался гелий-неоновый лазер 1 с длиной волны http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text_files/image018.gif = 632.8 нм, совпадающей с одной из полос поглощения аммиака. Лазерный луч разделяется полупрозрачным зеркалом 2 на опорный и сенсорный лучи. Сенсорный луч вводится в интегрально-оптическую волноводную сенсорную ячейку 3 через вводную призму под углом, который соответствует резонансному возбуждению ТЕ0-моды.



**Рис. 6.** Схема интеллектуальной цифровой измерительной системы  с интегрально-оптичеким химическим сенсором.

Введенное в волновод излучение распространяется по волноводу ([рис. 5](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#fig5)), частично проникая в воздух, и в присутствии аммиака на выходе выводной призмы наблюдается уменьшение интенсивности сигнала, регистрируемого сенсорным фотоприемником 4. Сигнал опорного луча регистрировался вторым фотоприемником 5. В качестве фотоприемников были использованы кремниевые фотодиоды ФД-256. Эти фотодиоды предназначены для применения в качестве приемника оптического излучения в диапазоне примерно от 0,4 мкм до 1,1 мкм. Режим работы фотодиодов, как правило, фотодиодный (с внешним источником смещения). При низком отношении сигнал/шум предпочтительнее применять фотоэлектронные умножители. Сигналы с фотоприемников поступали на электронную схему сравнения 6. После аналого-цифрового преобразования сигнал регистрировался и обрабатывался компьютером 7. Для регистрации результатов экспериментов в цифровом виде может использоваться, например, виртуальная лаборатория типа «PC-LAB», возможности которой можно расширить последующей математической обработкой данных экспериментов [[18](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#18), [19](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#19)].

Для ввода и вывода лазерного излучения в волноводный сенсор могут использоваться как призмы, так и дифракционные решетки. Можно использовать и торцевой ввод лазерного излучения. Выбор конкретного типа волновода и способов ввода и вывода лазерного излучения в интегрально-оптический волновод определяется конструкцией сенсора, типом исследуемого вещества, а также – предъявляемыми к датчику технологическими требованиями.

Подчеркнем, что особенности работы различных интегрально-оптических сенсоров в видимом диапазоне длин волн изучены пока достаточно слабо. Нет, например, достоверных данных о взаимодействии молекул аммиака, как с поверхностью конкретного сенсора, так и с приповерхностным слоем сенсора в поле лазерного излучения волноводной моды. Хотя уже в первых работах по интегрально-оптическим датчикам отмечались возможности сложного взаимодействия детектируемого вещества и сенсора (см., например, [[8](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#8), [9](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#9)]). Так возможны следующие явления: изменение диэлектрической проницаемости приповерхностного слоя в момент действия детектируемого вещества (эффект может быть обратимым и необратимым), нелинейный процесс взаимодействия поля волноводной моды с детектируемым веществом, усиление детектируемого эффекта с помощью дополнительного (химико-трансдьюсерного) слоя, который содержит иммобилизированные молекулы вещества, избирательно и обратимо реагирующего на присутствие исследуемого вещества. Таким слоем может быть сам волноводный слой интегрального оптического датчика. Бесспорно, комплексное исследование всех этих явлений требует междисциплинарного подхода и достаточно трудоемких и дорогостоящих экспериментов.

Для проверки детекторных способностей интегрально-оптического химического датчика использовался газообразный аммиак.[[1]](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#_ftn1) Следует подчеркнуть, что проблемы производства, транспортировки, реализации и хранения аммиака на всех стадиях требуют применения высокоточных быстродействующих датчиков аммиака. В микроэлектронной промышленности аммиак образуется, например, при следующих технологических процессах: оксидирование, нанесение слоев кремния, формирование контактов и фотолитография. В частности, при фотолитографии контроль концентрации содержания в воздухе аммиака является актуальным направлением по уменьшению молекулярных загрязнителей воздуха. Важно также заметить, что аммиак является взрыво- и пожароопасным газом.

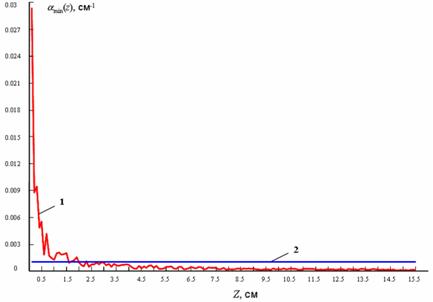
При тестировании экспериментальной установки концентрация в воздухе газообразного[[2]](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#_ftn2) аммиака составляла в среднем не более 200 ppm (примерно[[3]](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#_ftn3) 140 мг/м3).[[4]](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#_ftn4) Зарегистрированная в экспериментах минимальная концентрация аммиака была оценена на уровне 5 ppm при величине сигнал/шум не ниже 15. В расчетах использовалась оценка эффективного значения сечения http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text_files/image023.gif поглощения аммиака, полученная из данных экспериментов по волноводной методике измерения в диапазоне длин волн ≈ 500–750 нм [[9](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#9)-[11](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#11)].

Для примера на рис. 7 приведен один из полученных для экспериментальных условий измерения графиков зависимости коэффициента затухания волновода, обусловленный наличием газообразного аммиака http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text_files/image030.gif.

Эта зависимость характеризует минимальную чувствительность рассматриваемого интегрально-оптического датчика в зависимости от длины сенсорной ячейки *L*(т.е. полагается, что *L* равняется определенному *z*). Цифрой 1 на рис. 7 обозначен регистрируемый коэффициент затухания волноводной моды при наличии аддитивного случайного шума (с уровнем http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text_files/image031.gif), который рассчитывался на компьютере по известной формуле:

http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text_files/image032.gif.                                            (6)

В выражении (6) http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text_files/image033.gif – уровень сигнала, при котором отношение сигнал/шум в среднем (от реализации к реализации случайного шума) не ниже 20.



**Рис. 7.** Зависимость минимальной чувствительности интегрально-оптического датчика в зависимости от длины сенсорной ячейки. Цифрой 2 на рис. 7 обозначен уровень,соответствующий концентрации газообразного аммиака в воздухе 0.1 ppm.

Как видно из рис. 7 для достижения уровня чувствительности 0.1 ppm длина сенсорной ячейки должна быть не меньше 4 см.

Для дальнейшего повышения чувствительности интегрально-оптического химического датчика могут быть использованы следующие способы [[6](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#6), [9](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#9)-[12](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#12), [14](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#14), [17](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#17), [18](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#18)-[19](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#19)]:

 – увеличение длины сенсорной ячейки (например, использование подложки в виде цилиндрического стержня, брэгговских отражателей, резонаторов и др.);

 – оптимизация параметров волноводной системы;

 – увеличение отношения сигнал/шум;

 – интеграция элементов датчика на единой подложке, включая источник излучения, сенсорную ячейку и фотоприемник;

 – и ряд других.

Для увеличения доли мощности волноводной моды в регистрируемой среде следует использовать пленки с большим значением показателя преломления или использовать тонкий слой на поверхности волновода с оптимизированными параметрами.

Отношение сигнал/шум может быть увеличено, во-первых, путем оптимизации параметров электронной схемы сравнения и, во-вторых, уменьшением потерь в волноводной системе из-за рассеяния лазерного излучения, в частности, путем использования подложки с малой шероховатостью поверхности. При достижении предельных характеристик интегрально-оптического сенсора эта проблема будет дополнительно исследована.

Компьютерное моделирование с использованием модели турбулентной диффузии газообразного аммиака в воздухе показало, что величина минимальной концентрации, которая может быть измерена с помощью датчика рассмотренного типа, составляет примерно 0.1 ppm при эффективности ввода лазерного излучения (видимого диапазона) в волноводную сенсорную ячейку около 40%, длине сенсорной ячейки не менее 4 см и величине сигнал/шум около 20.

**4.** **ВЫВОДЫ**

       Существует огромное разнообразие конструкций датчиков.

       Сенсорные технологии играют, и будут играть в будущем важнейшую роль в различных областях жизни.

       Датчики используются практически во всех отраслях науки и промышленности.

       Интегральные оптические датчики очень перспективны, например, для использования в инфокоммуникационных технологиях: простая конструкция, интегральность исполнения, высокая точность, малые размеры и масса, высокая устойчивость к условиям окружающей среды, длительный срок службы, возможность интеграции с существующими оптоволоконными сетями и др.

       По различным оценкам, объем продаж на мировом рынке датчиков сегодня составляет около 150 млн. евро, и годовой прирост равен приблизительно 15% [[21](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html#21)].

**5.** **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Существующий в последние годы и все возрастающий интерес к разработке и использованию оптических химических сенсоров связан со следующими их наиболее важными преимуществами:

       высокая чувствительность;

       высокая скорость отклика;

       возможность бесконтактного обнаружения;

       высокая помехозащищенность;

       нечувствительны к электромагнитным полям (не оптической частоты);

       нечувствительны к радиационным полям;

       способность передавать аналитический сигнал без искажения на большие расстояния (например, по оптоволокну);

       удобство мультиплексирования сигналов;

       высокая плотность передачи данных;

       стойкость к вредным воздействиям окружающей среды;

       удобство применения интегральной технологии.

Основными недостатками оптических химических сенсоров являются: достаточно высокая, хотя и селективная чувствительность к световым помехам, а также определенная подверженность влиянию температуры (в случае использования полупроводников при изготовлении сенсора).

Установлено, что при использовании высоко устойчивой миниатюрной электронной схемы сравнения на основе прецизионных операционных усилителей и компьютерной регистрации и обработке данных измерений интегрально-оптический химический сенсор демонстрирует хорошие метрологические характеристики.

Датчики на основе интегрально-оптических волноводов могут найти применение, например, в системах контроля качества воздуха. По нашему мнению есть хорошая перспектива использования датчиков этого типа для исследования также веществ, растворенных в жидкостях, например, в биомедицинских, физико-химических и экологических исследованиях.

**ЛИТЕРАТУРА**

1.      Виглеб Г. **Датчики**. – М.: Мир, 1989.

2.      Како Н., Яманэ Я. **Датчики и микро-ЭВМ**. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1986.

3.      Шмидт Д., Шварц А. **Оптоэлектронные сенсорные системы**. – М.: Мир, 1991.

4.      Каттралл Роберт В. **Химические сенсоры**. – М.: Научный мир, 2000.

5.      Граттан К.Т.В. Волоконно-оптические датчики и измерительные системы // *Датчики и системы*, 2001, № 3, С. 46-50.

6.      Whitenett G., Stewart G., Atherton K., Culshaw B., and Johnstone W. Optical fibre instrumentation for environmental monitoring applications // *J. Opt. A: Pure Appl. Opt.*, 2003, V. 5, pp. S140-S145.

7.      Posani K.T., Tripathi V., Annamalai S., Weisse-Bernstein N.R., and Krishnaa S. Nanoscale quantum dot infrared sensors with photonic crystal cavity // *Appl. Phys. Let*., 2006, V. 88, pp. 151104-1–151104-3.

8.      Lambeck P.V. Integrated opto-chemical sensors // *Sensors and Actuators*, 1992, V. 8, pp. 103-116.

9.      Wiesmann R., Muller L., Klein R., Neyer A. Low cost polymer-optical ammonia sensor // *ECIO’95, Proceedings of 7th European Conference on Integrated Optics*, April 3-6, 1995, Delft, The Netherlands, pp. 453-456.

10.  Чехлова Т.К., Тимакин А.Г., Попов К.А. Волноводные датчики концентраций веществ в газовых смесях и жидкостях // *Приборы и техника эксперимента*, 2002, Т. 45, С. 145-148.

11.  Egorov A.A., Egorov M.A., Tsareva Yu.I., and Chekhlova T.K. Study of the integrated-optical concentration sensor for gaseous substances // *Laser Physics*, 2007, V. 17, pp. 50-53.

12.  [Egorov](mailto:aaegorovprof@gmail.com) A.A., Egorov M.A., Smoliakov R.B., Chekhlova T.K., Timakin A.G. Integrated-optical low-loss PbO2 diffusion waveguide sensitive chemical sensor // *Journal of Radio Electronics*, 2007, No. 5.

13.  Алейников А.Ф., Цапенко М.П. О классификации датчиков // *Датчики и системы*, 2000, № 5, С. 2-3.

14.  Хансперджер Р. **Интегральная оптика: Теория и технология**. – М.: Мир, 1985.

15.  Кулябина Е.Ю., Сидоренко М.В. Лихеноиндикационный мониторинг качества воздушной среды нижегородской области // *Известия Самарского научного центра РАН. Биология и Экология*, 2002, 4, С. 216-222.

16.  Демтрёдер В. **Лазерная спектроскопия: Основные принципы и техника эксперимента**. – ­М.: Наука, 1985.

17.  Егоров А.А., Егоров М.А., Чехлова Т.К., Тимакин А.Г. Исследование компьютеризированного интегрально-оптического датчика концентрации газообразных веществ // *Квантовая электроника*, 2008, Т. 38, С. 787-790.

18.  [Egorov](mailto:aaegorovprof@gmail.com) A.A., Egorov M.A., Chekhlova T.K., Timakin A.G. Low-loss inexpensive integrated-optical waveguides as a sensitive gas sensor // *ICO Topical Meeting on Optoinformatics/Information Photonics* 2008. September 15-18, 2008. St. Petersburg. Russia. St. Petersburg: ITMO. pp. 208-211.

19.  Егоров А.А., Егоров М.А., Чехлова Т.К., Тимакин А.Г. Новый тип химических сенсоров – интегрально- оптические датчики // *Экология и промышленность России*. 2008. № 4 (апрель). С. 16-17.

20.  **Физическая энциклопедия** / Гл. ред. Прохоров А.М. – М.: Большая Российская энциклопедия, Т. 3, 1992.

21.  Карубе И., Тёрнер Э., Уилсон Дж. **Биосенсоры**. М.: Мир, 1992.

22.  Прогноз развития датчиков. Отчет исследования ожидаемого развития датчиков до 2015 г. / Дания. Центр сенсорной технологии // *Датчики и системы*. 2003. № 11. С. 59-62.

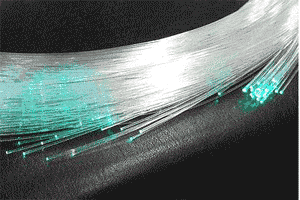
[[1]](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html" \l "_ftnref1" \o ") Аммиак – бесцветный газ с резким характерным запахом, почти в два раза легче воздуха, хорошо растворяется в воде.

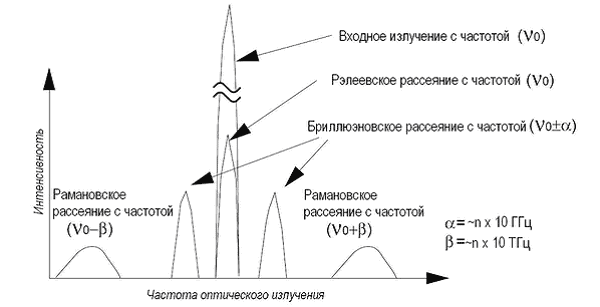
[[2]](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html" \l "_ftnref2" \o ") Как известно, понятия газа и пара почти полностью эквивалентны (см., например [20], С. 527). При исследовании, например, динамики фазовых переходов, явления критической опалесценции и др., по-видимому, потребуется уточнение состояния, в котором находится газообразный (пар, газ) аммиак. Описанный здесь эксперимент этого не требовал.

[[3]](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html" \l "_ftnref3" \o ") 1 мкг/м3 = (1 млн-1∙http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text_files/image035.gif)∙103, где http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text_files/image036.gif – молекулярный вес газообразного вещества, коэффициент http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text_files/image037.gif для температуры 25 0С и давления 760 мм рт.ст. равен 24.5.

[[4]](http://jre.cplire.ru/alt/mar09/3/text.html" \l "_ftnref4" \o ") Данная величина превышает предельно допустимую концентрацию данного вещества (для Российской Федерации) как в воздухе населенных мест (0.2 мг/м3), так и в рабочей зоне (20 мг/м3).

# Волоконно-оптические датчики температуры

****Под волоконно-оптическим измерением температуры (английский вариант DTS = Distributed Temperature Sensing) понимают применение оптоэлектронных приборов для измерения температуры, при которой стеклянные волокна используются в качестве линейных датчиков. Типичными случаями применения линейных волоконных температурных датчиков являются сферы, связанные с безопасностью, например, системы пожарного оповещения в автомобильных, железнодорожных или сервисных туннелях; термический контроль силовых кабелей и воздушных линий передач для оптимизации производственных отношений; повышение эффективности нефтяных и газовых скважин; обеспечение безопасного рабочего состояния промышленных индукционных плавильных печей; контроль герметичности контейнеров с сжиженным природным газом на судах в разгрузочных терминалах; обнаружение утечек на плотинах и запрудах; контроль температуры при химических процессах; обнаружение утечек в трубопроводах.

**Принцип работы оптоволоконного датчика**  
  
Физические воздействия на оптоволокно, такие как: температура, давление, сила натяжения - локально изменяют характеристики пропускания света и как следствие, приводят к изменению характеристик сигнала обратного отражения. В основе измерительных систем на основе оптоволоконных датчиков используется сравнение спектров и интенсивностей исходного лазерного излучения и излучения, рассеянного в обратном направлении, после прохождения по оптоволокну.   
  
**Обратное световое рассеяние при температурном воздействии**  
  
Оптические волокна изготовлены из легированного кварцевого стекла. Кварцевое стекло представляет собой разновидность двуокиси кремния (SiO2) с аморфной твердотельной структурой. Температурные воздействия инициируют вибрации в молекулярной решетке. Когда свет попадает на термически возбужденные молекулы, происходит взаимодействие между световыми частицами (фотонами) и электронами. Таким образом, в оптическом волокне происходит световое рассеяние, так же известное, как рамановское рассеяние.   
  
Обратное световое рассеяние состоит из нескольких спектральных составляющих:   
• Рэлеевское рассеяние, с длиной волны аналогичной, используемой в лазерном источнике;   
• Стоксовы компоненты Рамановского рассеяния с длиной волны большей, чем у используемого лазерного источника, при которых испускаются фотоны;   
• Антистоксовы компоненты Рамановского рассеяния с меньшей длиной волны, по сравнению с рэлеевским рассеянием, при которых фотоны поглощаются.   
  
Интенсивность рассеяния так называемого антистоксова диапазона зависит от температуры, в то время как, стоксов диапазон от температуры практически не зависит. Локальная температура оптического волокна выводится из отношения антистоксовой и стоксовой интенсивностей света.   
  
• Бриллюэновские линии, которые более интенсивные чем Стоксовы, но имеют меньший спектральный сдвиг Этот спектральный сдвиг вызван акустическими колебаниями кристаллической решетки волокна и несет в себе информацию о механических напряжениях и температурах, воздействующих на волокно. Воздействие механических напряжений и температур приводит к изменению положения Бриллюэновской линии на шкале длин волн.   
  
   
  
**Датчики температуры на основе Рамановских линий**  
  
Самым современным оборудованием в системе мониторинга распределения температуры, например в трубопроводах, является распределенный оптоволоконный датчик температуры на основе Рамановских линий. Принципом работы датчика является то, что интенсивность Стоксовой Рамановской компоненты рассеянного излучения практически не зависит от температуры, а интенсивность Антистоксовой линии сильно связана с температурой. Это позволяет, определяя отношение интенсивности Антистоксовой линии и Стоксовой линии, определять значение температуры. Данный подход позволяет избавиться от погрешности, связанной с возможными флуктуациями мощности зондирующего лазерного импульса. Системы этого типа могут работать на расстояниях в несколько километров. Пространственное разрешение может достигать 0,5 м.   
  
**Метод измерения**   
  
Самым известным методом обратного рассеивания является метод OTDR (= Optical Time Domain Reflectometry = оптическая рефлектометрия временной области). В его основе заложен импульсно-акустический метод (импульсы и эхо), в результате разницы времени распространения между временем передачи и обнаружения световых импульсов можно определить уровень и место рассеивания. Соотношение излучаемого рассеивания света с эффектом Рамана, сигнал обратного рассеивания при измерении комбинационного рассеянного света составляет коэффициент 1000. Поэтому локально распределенный датчик температуры Рамана с техникой OTDR может быть реализован только с помощью мощных (дорогих) импульсных лазеров (обычно лазеров с твердым рабочим веществом) и быстрой, также дорогостоящей, техникой передачи сигналов.   
  
Разработанный компанией «LIOS Technology GmbH» температурный датчик Рамана OFDR (OFDR, Optical Frequency Domain Reflectometry = рефлектометрия частотной области) работает не во временном диапазоне, как техника OTDR, а в частотном. При методе OFDR получают информацию о локальном изменении температуры, если сигнал обратного рассеивания, обнаруженный на протяжении всего времени измерения, измеряется как функция частоты и в комплексе (комплексная передаточная функция), а затем подвергается преобразованию Фурье. Существенными преимуществами техники OFDR являются режим квазинепрерывного излучения лазера и узкополосное обнаружение оптического сигнала обратного рассеивания, вследствие чего, достигается значительно более высокое отношение сигнал / шум, чем при использовании импульсной техники. Данное техническое преимущество позволяет использовать недорогие полупроводниковые лазерные диоды и недорогостоящие электронные блоки для передачи сигналов. Им противопоставляется технически сложное измерение комбинационного рассеиваемого света (комплексное измерение в соответствии с величиной и фазой) и высокая затратная часть из-за БПФ (блока преобразования Фурье), необходимого для обработки сигнала и с более высокими требованиями к линейности электронных блоков и компонентов.   
  
**Структура измерительной системы**  
  
Схематическая структура волоконно-оптической системы измерения температуры состоит из блока формирования сигнала с частотным генератором, лазера, оптического модуля, приемного блока и блока микропроцессора, а также световодного кабеля (кварцевое стеклянное волокно) в качестве линейного температурного датчика. В соответствии с методом OFDR интенсивность лазера в течение интервала времени измерения модулируются синусообразно, а частота — в виде линейной частотной модуляции. Отклонение частоты является прямой причиной для локального срабатывания рефлектометра. Частотномодулированный свет лазера направляется в световод. В любой точке вдоль волокна возникает комбинационный рассеянный свет, излучаемый во всех направлениях. Часть комбинационного рассеянного света движется в обратном направлении к блоку формирования сигнала. Затем выполняется спектральная фильтрация света обратного рассеивания, его преобразование в измерительных каналах в электрические сигналы, усиление и электронная обработка. Микропроцессор проводит расчет преобразования Фурье. В качестве промежуточного результата получают кривые комбинационного обратного рассеивания как функцию длины кабеля. Амплитуда кривых обратного рассеивания пропорциональна интенсивности соответствующего комбинационного рассеивания. Из отношения кривых обратного рассеивания получают температуру волокна вдоль световодного кабеля. Технические спецификации системы измерения температуры Рамана могут быть оптимизированы посредством настройки параметров прибора (дальность действия, локальное разрешение, точность температуры, время измерения). Возможна также регулировка световодного кабеля в соответствии с возможностями конкретного случая применения. Термическая стойкость стекловолоконного покрытия ограничивает максимальный диапазон температуры световодного кабеля. Стандартные волокна для передачи данных располагают акриловым покрытием или покрытием, затвердевшим в результате УФ (ультрафиолетового) излучения, и пригодны для диапазона температур до 80 °C. Стекловолокно с полиамидным покрытием может использоваться до максимальной температуры 400 °C.   
  
**Бриллюэновские системы**(информация с сайта www.vodosfera.com)   
  
Как отмечено ранее, спектральный сдвиг Бриллюэновской линии вызван акустическими колебаниями кристаллической решетки волокна и несет в себе информацию о механических напряжениях и температурах, воздействующих на оптоволокно. Созданные к настоящему времени алгоритмы обработки сигналов таких систем позволяют разделить информацию о температуре и о механических воздействиях.   
  
Для Бриллюэновской системы мониторинга типичны следующие характеристики: расстояние, на которое может работать единичная система – 40 – 50 км при пространственном разрешении 1 – 2 метра.   
  
К недостаткам Бриллюэновских систем мониторинга следует отнести сложность их устройства, которая обуславливает высокую стоимость. Преимуществом Бриллюэновских систем является возможность работы с сенсорными кабелями на основе обычного дешевого связного волокна. Время получения сигнала с таких систем составляет ориентировочно 1 – 2 минуты. При работе с более длинными линиями время измерений возрастает.   
  
Для повышения чувствительности и значительного сокращения времени измерений используется метод, основанный на стимулированном Бриллюэновском рассеянии. Он отличается от систем на спонтанном рассеянии тем, что в волокно направляются одновременно непрерывное «пробное» лазерное излучение и мощный импульс накачки  
  
Системы мониторинга на основе стимулированного Бриллюэновского рассеяния обеспечивают работу на расстояние порядка 50 км (возможны большие расстояния) с пространственным разрешением от 0,5 м. Минимальная частота получения измерительной информации может составлять значения порядка одного Герца.

**Далее в разделе публикуем статью, предоставленную компанией «Инверсия-Сенсор» о применении оптоволоконных датчиков в системе мониторинга электрических кабелей.**

## ****Система термомониторинга кабельной линии с использованием оптоволоконного датчика****

**Материал предоставлен компанией «Инверсия-Сенсор»**

Из-за своей большой стоимости и высокой технологической значимости аварийный выход из строя силовых высоковольтных кабельных линий является чрезвычайным происшествием, требующим срочного и дорогостоящего ремонта. Во многих случаях причиной аварийности кабельной линии являются локальные перегревы, которые могут быть вызваны повышением токовой нагрузки в линии, ухудшением условий охлаждения кабеля по длине, или же являются результатом возникновения некоторых дефектов в изоляции кабеля и муфт.



Своевременное выявление зон перегрева кабеля и муфт возможно при использовании систем температурного мониторинга с применением оптического волокна, интегрированного в конструкцию кабеля. Подобные системы измерения распределения температуры вдоль кабельной линии, проводимого с использованием эффекта рассеивания лазерного импульса в оптическом кабеле, называемого рамановским, сейчас интенсивно внедряются на практике.

Оптоволоконная система «ASTRO» отечественного производства (компания «Инверсия-Сенсор») предназначена для оперативного контроля профиля температуры высоковольтных кабельных линий в процессе эксплуатации.



Оптическое волокно, интегрировано в конструкцию кабельной линии и расположено, обычно, в зоне экрана, под внешней оболочкой. В него лазером периодически излучаются диагностические импульсы и при помощи измерительного прибора регистрируется обратный отраженный поток света.

При изменении параметров встроенного в кабель оптического волокна, возникающих под воздействием температуры, для каждого конкретного участка кабельной линии определяется величина локальной температуры.

Локальная температура на каждом конкретном участке кабельной линии рассчитывается с использованием разницы во времени между моментом времени получения отраженного от каждого участка импульса и моментом излучения лазерного импульса в оптическое волокно. Зная скорость распространения света в измерительном оптоволокне, можно с высокой точностью рассчитать место, которому соответствует спектр отраженного оптического сигнала.

Оперативное определение температурного профиля кабельной линии позволяет обслуживающему персоналу эффективно эксплуатировать линию, используя:

* Метод контроля температуры по оптическому рассеянию в отраженных сигналах, позволяет проводить оперативное измерение температурного профиля на кабелях, имеющих большие длины, до 16 км. Это дает возможность при помощи одного прибора контролировать протяженные объекты или несколько объектов сразу, включив их последовательно.
* Знание температурного профиля кабельной линии позволяет оптимизировать ее загрузку, рационально учитывать реальные климатические условия и локальные особенности пролегания всех участков кабельной линии.
* Поскольку оптоволоконной системой производится измерение температуры под оболочкой кабельной линии, в программном обеспечении мониторинга производится перерасчет на температуру токоведущей жилы кабеля, определяется переходный процесс нагрева при скачке нагрузки. Особенно важно это для определения технической возможности передачи по кабельной линии дополнительной мощности, с учетом наиболее нагретого участка кабеля.
* При помощи системы «ASTRO» можно определять места возникновения и оценивать степень развития дефектов, сопровождающихся локальным разогревом отдельных участков контролируемой кабельной линии.
* Можно оперативно проводить определение мест обрыва кабельной линии после возникновения фатальных дефектов или аварийных динамических воздействий на кабель.

Система температурного мониторинга кабельных линий конструктивно состоит из двух основных элементов - оптического волокна, проложенного вдоль кабельной линии, являющегося распределенным датчиком температуры, и измерительного прибора со средствами обработки и анализа первичной информации, установленного в защитном шкафу.



Если кабельная линия была изначально рассчитана на использование с системой температурного мониторинга, то оптическое волокно заранее устанавливается под оболочкой кабеля еще на этапе его изготовления.

Если же система температурного мониторинга устанавливается на уже эксплуатируемой кабельной линии, внутри которой отсутствует измерительное оптическое волокно, то тогда оно прокладывается снаружи и фиксируется максимально близко к контролируемому кабелю. Наружный способ прокладки оптического волокна-датчика температуры менее предпочтителен, так как имеет существенно меньшую точность и более подвержен влиянию внешних температурных воздействий.

Шкаф системы температурного мониторинга кабельной линии включает в себя непосредственно измерительный прибор марки «ASTRO», промышленный компьютер со специализированным программным обеспечением для обработки информации, оценки состояния и прогнозирования возможного увеличения нагрузки кабельной линии. Также в шкафу монтируется источник бесперебойного питания и все необходимые технические средства для коммуникации с верхним уровнем АСУ-ТП.



Климатическое исполнение защитного шкафа системы мониторинга определяется параметрами технического задания на создание системы. Сам шкаф может быть установлен рядом с концевой муфтой контролируемой кабельной линии или располагаться на удалении до нескольких километров, в зависимости от длины линии. При наружной установке шкаф снабжается системой внутреннего температурного кондиционирования.

Система температурного мониторинга высоковольтной кабельной линии марки «ASTRO» работает полностью в автоматическом режиме, в соответствии с внутренними расчетными и экспертными алгоритмами и заданными локальными настройками для каждого объекта контроля.

Информация о текущем температурном режиме работы контролируемой кабельной линии и результаты проведения экспертной диагностики постоянно отображаются на экране встроенного промышленного компьютера. Полная информация о состоянии линии передается в систему АСУ-ТП более высокого уровня по оптическому волокну с использованием стандартного протокола МЭК 61850.

Технические параметры системы «ASTRO»

|  |  |
| --- | --- |
| Диапазон измерения температуры, °C | -55 ÷ 300 |
| Время измерения температуры, сек | от 10 |
| Точность измерения, °C | от 1 |
| Пространственное разрешение, м | от 1 |
| Длина чувствительного элемента (оптоволокна), км | до 8, опция до 16 |
| Количество измерительных каналов | 1, 4, 8 |
| Длина волны излучения, нм | 1550 |
| Тип волокна | MM |
| Температура эксплуатации, °C | +10 ÷ +40 |
| Влажность окружающей среды, % | до 90 |
| Напряжение питания, В | 220 |
| Потребляемая мощность, Вт | 200 |
| Размеры прибора, мм | 500\*450\*130 |
| Вес измерительного прибора, кг | 12,0 |

# Инфракрасные датчики газов

|  |  |
| --- | --- |
| Оптические датчики газов представляют очень важную линейку газовых датчиков, и используют одну из лучших технологий, основанную на принципе поглощения газом инфракрасного излучения. Различные газы имеют разные максимумы поглощения ИК излучения, поэтому тип и концентрация газа могут быть определены через измерение и анализ кривой поглощения газом ИК излучения. Из-за сложности такого типа датчиков, и сдвигов фаз, вносимых приборами, ИК датчики газа не стали настоящими лидерами рынка, несмотря на известные преимущества принципа детектирования. | По мере научно-технологического прогресса постоянно появляются фотоэлектрические ИК приборы с небольшими габаритами и низким давлением, что позволяет сделать миниатюризацию одним из основных направлений развития датчиков газа. Не дисперсионный инфракрасный метод (NDIR) это основная технология, используемая в ИК датчиках газа. Принцип работы датчика, определяющего тип и концентрацию газа, основан на изменении интенсивности ИК излучения до и после поглощения в инфракрасном детекторе с избирательной чувствительностью. |

Инфракрасные датчики 
газов

|  |  |
| --- | --- |
| Поглощение ИК излучения это простой физический процесс. Этот процесс не зависит от кислорода, не использует ядовитые вещества, обладает прекрасной устойчивостью к вибрации и помехам. Подобные датчики могут использоваться для непрерывной работы совместно с компьютером. ИК датчики газа обладают такими заметными преимуществами как высокая точность, хорошая избирательность, прекрасная чувствительность и надежность, быстрый отклик, и линейность в широком диапазоне (0...100%). | Датчики могут широко использоваться там, где требуется высокая чувствительность, как например, при определении опасных газов, анализе выбросов в окружающую среду (выхлопные газы), обнаружении газов в угольных шахтах, мониторинге состояния окружающей среды в жилищах и медицинских учреждениях, мониторинге углекислого газа в теплицах, и в тех местах, где определенные газы трудно обнаружить с помощью датчиков других типов. Область применения инфракрасных датчиков газа очень широка и разнообразна. |
| Принцип работы ИК датчика газа это миниатюрный универсальный интеллектуальный прибор, который использует недисперсионный инфракрасный метод для определения концентрации определенного газа в воздухе, и имеет хорошую избирательность, стабильность, большой срок эксплуатации, а также не зависит от содержания кислорода. Встроенный датчик температуры может использоваться для компенсации температурной зависимости. Миниатюрный ИК датчик газа сочетает в себе технологию инфракрасного метода детектирования газа, и современную микропроцессорную схемотехнику. | Применение Системы обогрева, вентиляции и кондиционирования воздуха. Системы мониторинга качества воздуха в помещениях. Промышленные процессы, системы мониторинга безопасности. Системы мониторинга для животноводства и сельского хозяйства. |
| Характеристики  * высокая чувствительность * модификации со стандартными выходными сигналами, и с первичными сигналами * миниатюрность * быстрый отклик и малое время восстановления * температурная компенсация * хорошая стабильность * большой срок эксплуатации * защита от испарений * альтернатива для каталитических датчиков |  |

  
*MH-Z12, MH-Z92, MH-440D, MH-710*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Датчики | MH-440D | MH-410D | MH-490W | MH-Z12 |
| Рабочее напряжение | 3.5 ~ 5.5V DC | 3.5 ~ 5.5V DC | 3.5 ~ 5.5V DC | 4-6V |
| Потребляемый ток | 75 ~ 85mA | 75 ~ 85mA | 75 ~ 85mA | максимальный <100mA; средний<50mA |
| Детектируемый газ | Метан и CO2 | |  |  |
| Диаппазон | 0~5%(1~100%) | 0~5%(1~100%) | CH4: 0-100%VOL; CO2: 0-50%VOL | 0-5000ppm |
| Диапазон выходного сигнала | 0.4~2V DC | 0.4~2V DC | волновой | 0.4~2V DC, PWM |
| Разрешение | 1%FSD | 50ppm |  | 5ppm(0-2000ppm); 10ppm(2000-5000ppm) |
| Время разогрева (время ожидания готовности) | 90s | | | |
| Время отклика | T90<30s | | | |
| Диапазон рабочих температур | -20°C ~ 50°C | | | 0°C ~ 50°C |
| Рабочий диапазон влажности окружающего воздуха | 0~95% RH | | 0~99% RH | 0~90% RH |
| Срок эксплуатации (ожидаемый оценочный срок службы) | 5 лет | | | |
| Размеры | 20x16.6мм | 20x16.6мм | 20x16.6мм | 60x65мм |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Датчики | MH-Z14 | MH-Z92 | MH-740 | MH-710 |
| Рабочее напряжение | 4-6V | 3.5~5.5V DC | 4.5~5.5V DC | 3.5~5.5V DC |
| Потребляемый ток | максимальный <100mA; средний<50mA | | средний 120mA | |
| Детектируемый газ | Метан и CO2 | |  |  |
| Диаппазон | 0-10000ppm | 0-100% CH4 | 0~5% (0~100%) | 0~2000ppm (0~100%) |
| Диапазон выходного сигнала | 0.4~2V DC, PWM | 0-50% CO2 | ⅡC | ⅡC |
| Разрешение | 5ppm(0-2000ppm); 10ppm(2000-5000ppm); 20ppm(5000-10000ppm) | 0.4~2V DC,PWN | 1%FSD | 5ppm |
| Время разогрева (время ожидания готовности) | 90s | | | |
| Время отклика | T90<30s | T90<10s | T90<30s | T90<30s |
| Диапазон рабочих температур | 0°C ~ 50°C | | -40°C ~ 70°C | |
| Рабочий диапазон влажности окружающего воздуха | 0~90% RH | 0~95% RH | | |
| Срок эксплуатации (ожидаемый оценочный срок службы) | 5 лет | | | |
| Размеры | 35x57мм | 83x51x18мм | 44x60мм | 44x60мм |

Оптические бесконтактные выключатели:

##### Устройство и принцип работы

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| УСТРОЙСТВО | | |
| Оптические бесконтактные выключатели состоят из 2-х функционально законченных узлов - источника излучения и приемника этого излучения. Источник оптического излучения (излучатель) и приемник могут быть выполнены в одном корпусе или в разных корпусах. | | |
| http://www.megak.ru/imgs/struct_o.gif | | |
| **Источник излучения (излучатель)**  1. **Генератор** вырабатывает последовательность электрических импульсов на излучатель.  2. **Излучатель** - светодиод, создающий излучение оптического диапазона.  3. **Индикатор** показывает наличие напряжения питания на излучателе.  4. **Оптическая система** формирует диаграмму направленности излучения и при необходимости поляризацию излучения.  **Компаунд** обеспечивает необходимую степень защиты от проникновения твердых частиц и воды.  **Корпус** обеспечивает монтаж выключателя, защищает от механических воздействий. Выполняется из латуни или полиамида, комплектуется метизными изделиями. | **Приемник излучения**  1.**Оптическая система** формирует диаграмму направленности приемника и при необходимости производит поляризационную селекцию.  2. **Фотоприемник** воспринимает излучение и преобразует его в электрический сигнал.  3. **Усилитель** увеличивает входной сигнал до необходимого значения.  4. **Пороговый элемент** обеспечивает необходимую крутизну фронта сигнала переключения и значение гистерезиса.  5. **Электронный ключ** обеспечивает коммутацию выходного тока выключателя, определяет схему подключения нагрузки, имеет защиту от перегрузки и короткого замыкания.  6. Светодиодный **цветной индикатор**показывает состояние выключателя, позволяет определить функциональный резерв по выбранному объекту, обеспечивает контроль работоспособности, оперативность настройки.  7. **Регулятор чувствительности**позволяет производить настройку выключателя по фактической контрастности объекта на фоне окружающих предметов. | |
| **Функциональный резерв** определяется как отношение светового потока, полученного приемником, к минимальному световому потоку, вызывающему срабатывание выключателя. Функциональный резерв позволяет компенсировать ослабление сигнала в результате загрязнения оптики и наличия аэрозольных компонентов в окружающем пространстве.  **Цветной светодиодный индикатор** работает следующим образом:  · при отсутствии сигнала на входе приемника индикатор не светится;  · при появлении сигнала с уровнем, при котором происходит срабатывание выключателя, индикатор светится зеленым цветом;  · при дальнейшем увеличении уровня сигнала зеленый цвет плавно изменяется через желтый - оранжевый до красного.  **Контрастность объекта**определяется его собственным коэффициентом отражения и величиной отраженного света от окружающего фона. | | |
|  |  |  |
| ПРИНЦИП РАБОТЫ | | |
| Прямой луч. (Тип Т. Барьерный) http://www.megak.ru/imgs/struct_o1.gif  Оптические выключатели, работающие на прямом луче, состоят из приемника и передатчика, выполненных в отдельных корпусах. При эксплуатации они располагаются соосно дуг против друга. Поток излучения от излучателя передатчика направлен на приемник. Срабатывание происходит при прерывании луча объектом. Выключатели, использующие принцип прерывание луча, отличаются большой дальностью действия - до нескольких десятков метров и большой помехозащищенностью от воздействия посторонних факторов (пыль, капли воды и других жидкостей).    Основными недостатками таких выключателей является наличие двух отдельных изделий, что не всегда удобно при их монтаже и прокладке проводов питания к ним.    Необходимо иметь в виду, что:  **· посторонние предметы с высоким коэффициентом отражения, подобные рефлектору, находящиеся в области перекрытия диаграмм направленностей приемника и передатчика, могут вызвать ложное срабатывание;**  **· прозрачные и полупрозрачные недостаточно ослабят луч до порога срабатывания.**  Для уменьшения или полного устранения вышеперечисленных эффектов оптические выключатели снабжены регуляторами чувствительности.  Диаметр прямого луча определяет минимальный размер регистрируемого объекта. | | |
| Луч, отраженный от объекта. (Тип D. Диффузный) В оптических выключателях, использующих эффект диффузного и зеркального отражения потока излучения от объекта, приемник и излучатель выполнены в одном корпусе. Поток излучения от передатчика попадает на поверхность объекта, от которого происходит его отражение в различных направлениях. Распределение отраженного потока определяется оптическими свойствами объекта. Часть потока возвращается обратно в приемник, вызывая его срабатывание.   Преимущество данного вида выключателей заключается в простоте применения, при котором не требуется никаких дополнительных приборов.   При использовании выключателей данного типа необходимо учитывать возможность появления ложных срабатываний в случае появления за контролируемым объектом предметов с гораздо большей отражательной способностью. В этих случаях следует применять диффузные оптические выключатели с подавлением фона.   Поскольку различные материалы отражают падающий на них поток излучения по-разному, то для нормирования расстояния срабатывания согласно по ГОСТ Р 50030.5.2-99 выбран стандартный объект воздействия - лист белой бумаги с размерами 100x100мм для выключателей с расстоянием срабатывания до 400мм и лист белой бумаги с размерами 200x200мм для выключателей с расстоянием срабатывания более 400мм (тест-карта Кодак). | | |
| Для пересчета расстояния срабатывания для объектов из других материалов, имеющих другую отражающую способность, следует выбрать тип материала из приведенной ниже таблицы (табл.1). Затем следует выбрать соответствующий этому материалу поправочный коэффициент, который покажет в какую сторону и насколько отличается расстояние срабатывания по сравнению с расстоянием срабатывания на стандартный объект.    Например, оптический выключатель в обозначении имеет значение расстояния срабатывания 100мм. Это значит, что если потребитель будет использовать данный выключатель для контроля объекта из холоднокатаной стали, то расстояние срабатывания изменится в 1,5 раза и составит 150мм. Аналогично, расстояние срабатывания на объект из белой бумаги составит около 120мм.    Минимальный размер регистрируемого объекта определяется его отражающей способностью, контрастностью и функциональным резервом. | | Таблица 1   |  |  | | --- | --- | |  | К | | Белая бумага | 1,20 | | Картон | 0,80 | | Древесина чистая | 1,20 | | Черная резина | 0,03 | | Непрозрачный черный пластик | 0,20 | | Непрозрачный белый пластик | 1,50 | | Прозрачная пластиковая бутылка | 0,60 | | Прозрачная корич. пластиковая бутылка | 1,00 | | Алюминий необработанный | 2,50 | | Алюминий обработанный | 1,70 | | Сталь нержавеющая | 7,50 | | Горячекатанная сталь | **1,00** | | Холоднокатанная сталь | 1,50 | |
| Луч, отраженный от рефлектора. (Тип R. Рефлекторный) http://www.megak.ru/imgs/struct_o2.gif  Излучение светодиода имеет круговую поляризацию, т.е. представляет собой совокупность множества плоскополяризованных пространственных световых колебаний (волн) с различными плоскостями поляризации.   Если на пути луча установить специальный поляризационный фильтр, то через него пройдут только те волны, плоскость поляризации которых совпадает с плоскостью поляризации фильтра. Таким образом, поляризационный фильтр формирует луч с плоской поляризацией.   При отражении поляризованного луча от различных предметов плоскости поляризации падающего и отраженного луча, как правило, совпадают.  Плоскость поляризации изменяется на 90о при отражении от специальных световозвращателей (уголковых отражателей или рефлекторов).   Если на пути поляризованного луча расположить еще один поляризационный фильтр с плоскостью поляризации, развернутой на 90о по отношению к первому, то луч через него не пройдет. Таким образом, данный фильтр будет для него барьером.   Специальные световозвращатели - "рефлекторы", которые поворачивают плоскость поляризации на 90о, могут быть выполнены в виде самоклеящейся пленки или в виде отдельного устройства для монтажа на объектах.   Если такой рефлектор поместить на пути поляризованного луча, то луч, отразившись от него, изменит плоскость поляризации и свободно пройдет через входной поляризационный фильтр фотоприемника, повернутый на 90о по отношению к поляризационному фильтру излучателя.   Работая с поляризованным излучением, выключатель воспринимает только поток от световозвращателя, который поворачивает плоскость поляризации на 90о. Все предметы, появляющиеся между выключателем и световозвращателем, вызывают прерывание поляризованного луча и срабатывание выключателя.   Данный эффект реализован в оптических выключателях с обозначением TRP. Поляризационные фильтры встроены вовнутрь, поэтому по внешнему виду такие выключатели ничем не отличаются от выключателей, использующих принцип отражения луча о объекта. Эти выключатели по помехозащищенности от воздействия посторонних факторов приближаются к выключателям, использующим прерывание луча. | | |

[Версия для печати](http://kipia.ru/catalog/oborudovanie/sredstva-avtomatizatsii/datchiki/opticheskie-datchiki/opticheskie-datchiki-beskontaktnye/?print=Y)

## ФОРМАЗАКАЗА

Начало формы

Поля, помеченные звездочкой *\**, обязательны для заполнения.

**Для заказа на любую нашу продукцию или запроса информации Вы можете воспользоваться формой:**Заказ\* Организация\*



Контактное лицо\*



Город\*



Телефон\*



E-mail\*



ИНН





Конец формы

### Похожие товары

|  |
| --- |
| [ФДС-03-2К фотодатчик контроля запальных устройств двухканальный](http://kipia.ru/catalog/oborudovanie/kotelnaya-avtomatika/pribory-kontrolya/fds-03-2k/)  [ФДС-03-2К фотодатчик контроля запальных устройств двухканальный](http://kipia.ru/catalog/oborudovanie/kotelnaya-avtomatika/pribory-kontrolya/fds-03-2k/)  Фотодатчик сигнализирующий двухканальный ФДС-03-2К предназначен для селективного контроля наличия пламени горелочных устройств, работающих на газе, а так же контроля факела запального устройства. |
| [Autonics BF4R серия - оптоволоконный датчик (усилитель)](http://kipia.ru/catalog/oborudovanie/sredstva-avtomatizatsii/datchiki/opticheskie-datchiki/autonics-bf4r-seriya/)  [Autonics BF4R серия - оптоволоконный датчик (усилитель)](http://kipia.ru/catalog/oborudovanie/sredstva-avtomatizatsii/datchiki/opticheskie-datchiki/autonics-bf4r-seriya/)  ... |
| [Autonics BWP серия - фотоэлектрический / оптический барьер в пластиковом корпусе](http://kipia.ru/catalog/oborudovanie/sredstva-avtomatizatsii/datchiki/opticheskie-datchiki/autonics-bwp-seriya/)  [Autonics BWP серия - фотоэлектрический / оптический барьер в пластиковом корпусе](http://kipia.ru/catalog/oborudovanie/sredstva-avtomatizatsii/datchiki/opticheskie-datchiki/autonics-bwp-seriya/)  ... |
| [Autonics BMS серия - высокоскоростной фотоэлектрический датчик со встроенной защитой выхода.](http://kipia.ru/catalog/oborudovanie/sredstva-avtomatizatsii/datchiki/opticheskie-datchiki/autonics-bms-seriya/)  [Autonics BMS серия - высокоскоростной фотоэлектрический датчик  со встроенной защитой выхода.](http://kipia.ru/catalog/oborudovanie/sredstva-avtomatizatsii/datchiki/opticheskie-datchiki/autonics-bms-seriya/)  ... |
| [Autonics BA2M серия - миниатюрный фотодатчик / оптический датчик диффузного типа с увеличенным расстоянием срабатывания](http://kipia.ru/catalog/oborudovanie/sredstva-avtomatizatsii/datchiki/opticheskie-datchiki/autonics-ba2m-seriya/)  [Autonics BA2M серия - миниатюрный фотодатчик / оптический датчик диффузного типа с увеличенным расстоянием срабатывания](http://kipia.ru/catalog/oborudovanie/sredstva-avtomatizatsii/datchiki/opticheskie-datchiki/autonics-ba2m-seriya/)  ... |

# ОПТИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ РАССТОЯНИЯ

Оптические датчики расстояния [**SICK AG**](http://www.sensorica.ru/sick.shtml) излучают световой пучок, направленный на объект или специальный отражатель и анализируют отраженный свет. Полученные результаты измерений преобразуются в электрический сигнал. Т.о., основной принцип работы оптический датчиков расстояния основан на измерении скорости прохождения луча (лазер или светодиод), который отражается от специальной отражающей метки, расположенной на объекте, или же непосредственно от самого объекта.

Оптические датчики имеют большой рабочий диапазон (до 130 м) и высокое разрешение (1 мм). Управление устройств осуществляется программным методом или в режиме teach-in. Для внешней обработки данных результаты измерений могут передаваться посредством последовательного интерфейса SSI.

Диапазон применений оптических датчиков измерения расстояния очень широк: от решения задач расположения кранов, предотвращения столкновений автоматически движущихся транспортных средств до мониторинга уровня наполненности резервуаров и предотвращения провисания лент конвейера и определения малых объектов в диапазоне мкм. Датчики выпускаются в защищенном исполнении IP67.

## Датчики, работающие по принципу отражения от объекта

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Внешний вид** | **Серия** | **Диапазон измерений от объекта** | **Напряжение питания, В** | **Тип вых. сигнала** | **Опис-е** | **Док-ция** | **Купить** |
| DS 60 | **DS40** | 0,8...5 м | 11...30 | NPN, PNP | [http://www.sensorica.ru/images/ie_icon.gif](http://www.sensorica.ru/docs/DS40.shtml) | http://www.sensorica.ru/images/pdf.gif | [http://www.sensorica.ru/images/e-shop_basket_red.gif](http://www.sensorica.ru/cgi-bin/shopsearchname.pl?code=DS40) |
| http://www.sensorica.ru/images/DS30.png | **DS30** | 0,1...2 м | 10…30 | NPN, PNP | [http://www.sensorica.ru/images/ie_icon.gif](http://www.sensorica.ru/docs/DS30.shtml) | [http://www.sensorica.ru/images/pdf.gif](http://www.sensorica.ru/pdf/DS30.pdf) | [http://www.sensorica.ru/images/e-shop_basket_red.gif](http://www.sensorica.ru/cgi-bin/shopsearchname.pl?code=DS30) |
| DS 500 | **DS500** | 0,2…30 м | 10…30 | NPN, PNP | [http://www.sensorica.ru/images/ie_icon.gif](http://www.sensorica.ru/docs/DS500.shtml) | [http://www.sensorica.ru/images/pdf.gif](http://www.sensorica.ru/pdf/ds_dt500.pdf) | [http://www.sensorica.ru/images/e-shop_basket_red.gif](http://www.sensorica.ru/cgi-bin/shopsearchname.pl?code=DS500) |
| DT 2 | **DT2** | 0,05…0,3 м | 18…30 | 4…20 мА | [http://www.sensorica.ru/images/ie_icon.gif](http://www.sensorica.ru/docs/DT2.shtml) | [http://www.sensorica.ru/images/pdf.gif](http://www.sensorica.ru/pdf/DT2.pdf) | [http://www.sensorica.ru/images/e-shop_basket_red.gif](http://www.sensorica.ru/cgi-bin/shopsearchname.pl?code=DT2) |
| http://www.sensorica.ru/images/12-1_12.png | **DT10** | 0,05…0,5 м | 10…30 | 4…20 мА NPN, PNP | [http://www.sensorica.ru/images/ie_icon.gif](http://www.sensorica.ru/docs/DT10.shtml) | [http://www.sensorica.ru/images/pdf.gif](http://www.sensorica.ru/pdf/DT10.pdf) | [http://www.sensorica.ru/images/e-shop_basket_red.gif](http://www.sensorica.ru/cgi-bin/shopsearchname.pl?code=DT10) |
| http://www.sensorica.ru/images/12-1_13.gif | **DT20** | 0,05...1 м | 10…30 | 4…20 мА | [http://www.sensorica.ru/images/ie_icon.gif](http://www.sensorica.ru/docs/DT20.shtml) | [http://www.sensorica.ru/images/pdf.gif](http://www.sensorica.ru/pdf/DT20.pdf) | [http://www.sensorica.ru/images/e-shop_basket_red.gif](http://www.sensorica.ru/cgi-bin/shopsearchname.pl?code=DT20) |
| Оптический датчик расстояния DT20 HI | **DT20 HI** | 0,05...0,6 м | 10…30 | 4…20 мА NPN, PNP | [http://www.sensorica.ru/images/ie_icon.gif](http://www.sensorica.ru/docs/DT20HI.shtml) | [http://www.sensorica.ru/images/pdf.gif](http://www.sensorica.ru/pdf/DT20_Hi.pdf) | [http://www.sensorica.ru/images/e-shop_basket_red.gif](http://www.sensorica.ru/cgi-bin/shopsearchname.pl?code=DT20) |
| WTA 24 | **WTA24** | 0,1…3 м | 12…30 | 4…20 мА, PNP | [http://www.sensorica.ru/images/ie_icon.gif](http://www.sensorica.ru/docs/WTA24.shtml) | [http://www.sensorica.ru/images/pdf.gif](http://www.sensorica.ru/pdf/wta24.pdf) | [http://www.sensorica.ru/images/e-shop_basket_red.gif](http://www.sensorica.ru/cgi-bin/shopsearchname.pl?code=WTA24) |
| http://www.sensorica.ru/images/12-1_7.png | **DT200** | 0,1…2 м | 18…30 | 4…20 мА | [http://www.sensorica.ru/images/ie_icon.gif](http://www.sensorica.ru/docs/DT200.shtml) | [http://www.sensorica.ru/images/pdf.gif](http://www.sensorica.ru/pdf/DT200.pdf) | [http://www.sensorica.ru/images/e-shop_basket_red.gif](http://www.sensorica.ru/cgi-bin/shopsearchname.pl?code=DT200) |
| DT 500 | **DT500** | 0,2…30 м | 10…30 | 0/4…20 мА, RS 422 Can bus | [http://www.sensorica.ru/images/ie_icon.gif](http://www.sensorica.ru/docs/DT500.shtml) |  | [http://www.sensorica.ru/images/e-shop_basket_red.gif](http://www.sensorica.ru/cgi-bin/shopsearchname.pl?code=DT500) |
| DMT | **DMT** | 0…155 м | 18…30 | 4…20 мА, Profibus,  RS 232, RS 422/RS 232 | [http://www.sensorica.ru/images/ie_icon.gif](http://www.sensorica.ru/docs/DMT.shtml) | [http://www.sensorica.ru/images/pdf.gif](http://www.sensorica.ru/pdf/DMT_DML.pdf) | [http://www.sensorica.ru/images/e-shop_basket_red.gif](http://www.sensorica.ru/cgi-bin/shopsearchname.pl?code=DMT) |
| DMT | **DMT10-2** | 0,5...155 м | 18…30 | 4…20 мА, Profibus,  RS 232, RS 422/RS 232 | [http://www.sensorica.ru/images/ie_icon.gif](http://www.sensorica.ru/docs/DMT10.shtml) | [http://www.sensorica.ru/images/pdf.gif](http://www.sensorica.ru/pdf/DMT10-2_DML40-2.pdf) | [http://www.sensorica.ru/images/e-shop_basket_red.gif](http://www.sensorica.ru/cgi-bin/shopsearchname.pl?code=DMT102) |
| OD | **OD** | 0,2…0,4 м | 12…24 | 4…20 мА /PNP/NPN | [http://www.sensorica.ru/images/ie_icon.gif](http://www.sensorica.ru/docs/OD.shtml) | [http://www.sensorica.ru/images/pdf.gif](http://www.sensorica.ru/pdf/OD.pdf) | [http://www.sensorica.ru/images/e-shop_basket_red.gif](http://www.sensorica.ru/cgi-bin/shopsearchname.pl?code=OD) |
| OD HI | **OD HI** | 0…0,14 м | 12…24 | 4…20 мА /PNP/NPN | [http://www.sensorica.ru/images/ie_icon.gif](http://www.sensorica.ru/docs/ODHi.shtml) | [http://www.sensorica.ru/images/pdf.gif](http://www.sensorica.ru/pdf/od_hi.pdf) | [http://www.sensorica.ru/images/e-shop_basket_red.gif](http://www.sensorica.ru/cgi-bin/shopsearchname.pl?code=OD) |
| http://www.sensorica.ru/images/od_max.png | **OD MAX** | 0,25...0,45 м | от контроллера | 4…20 мА | [http://www.sensorica.ru/images/ie_icon.gif](http://www.sensorica.ru/docs/ODMax.shtml) | [http://www.sensorica.ru/images/pdf.gif](http://www.sensorica.ru/pdf/OD_MAX.pdf) | [http://www.sensorica.ru/images/e-shop_basket_red.gif](http://www.sensorica.ru/cgi-bin/shopsearchname.pl?code=OD) |
| http://www.sensorica.ru/images/OD_MAX_trans.gif | **OD MAX transparent** | 0…0,025 м | от контроллера | 4…20 мА | [http://www.sensorica.ru/images/ie_icon.gif](http://www.sensorica.ru/docs/ODMax_tr.shtml) | [http://www.sensorica.ru/images/pdf.gif](http://www.sensorica.ru/pdf/od_max_transp.pdf) | [http://www.sensorica.ru/images/e-shop_basket_red.gif](http://www.sensorica.ru/cgi-bin/shopsearchname.pl?code=OD) |

## Датчики, работающие по принципу отражения от рефлектора

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Внешний вид** | **Серия** | **Диапазон измерений от отражателя** | **Напряжения питания, В** | **Тип выходного сигнала** | **Опис-е** | **Док-ция** | **Купить** |
| DL 60 | **DL60** | 0,3…24 м | 11…30 | 4…20 мА, PNP, NPN | [http://www.sensorica.ru/images/ie_icon.gif](http://www.sensorica.ru/docs/DL60.shtml) | [http://www.sensorica.ru/images/pdf.gif](http://www.sensorica.ru/pdf/dl60.pdf) | [http://www.sensorica.ru/images/e-shop_basket_red.gif](http://www.sensorica.ru/cgi-bin/shopsearchname.pl?code=DL60) |
| DME 5000 | **DME4000** | 0.15 ... 130 м | 18…30 | SSI, Profibus, RS422, DeviceNet, Hiperface | [http://www.sensorica.ru/images/ie_icon.gif](http://www.sensorica.ru/docs/DME4000.shtml) | [http://www.sensorica.ru/images/pdf.gif](http://www.sensorica.ru/pdf/DME4000.pdf) | [http://www.sensorica.ru/images/e-shop_basket_red.gif](http://www.sensorica.ru/cgi-bin/shopsearchname.pl?code=DME4000) |
| DME 5000 | **DME5000** | 0,15…300 м | 18…30 | SSI, Profibus, RS422, DeviceNet | [http://www.sensorica.ru/images/ie_icon.gif](http://www.sensorica.ru/docs/DME5000.shtml) | [http://www.sensorica.ru/images/pdf.gif](http://www.sensorica.ru/pdf/dme5000.pdf) | [http://www.sensorica.ru/images/e-shop_basket_red.gif](http://www.sensorica.ru/cgi-bin/shopsearchname.pl?code=DME5000) |
| DMD | **DMD** | 50…240 м | 18…30 | Profibus, Interbus, SSI | [http://www.sensorica.ru/images/ie_icon.gif](http://www.sensorica.ru/docs/DMD.shtml) | [http://www.sensorica.ru/images/pdf.gif](http://www.sensorica.ru/pdf/DMD.pdf) | [http://www.sensorica.ru/images/e-shop_basket_red.gif](http://www.sensorica.ru/cgi-bin/shopsearchname.pl?code=DMD) |
| DML | **DML** | 0,5…1100 м | 18…30 | 4…20 мА, Profibus, RS 232, RS422/RS232 | [http://www.sensorica.ru/images/ie_icon.gif](http://www.sensorica.ru/docs/DML.shtml) | [http://www.sensorica.ru/images/pdf.gif](http://www.sensorica.ru/pdf/DMT_DML.pdf) | [http://www.sensorica.ru/images/e-shop_basket_red.gif](http://www.sensorica.ru/cgi-bin/shopsearchname.pl?code=DML) |

## Оптические датчики, отражающие от рефлектора и объекта

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Внешний вид** | **Серия** | **Диапазон измерений от объекта** | **Диапазон измерений от отражателя** | **Напряжения питания, В** | **Тип выходного сигнала** | **Опис-е** | **Док-ция** | **Купить** |
| DS 60 | **DS60** | 0,2…6 м | 0,2…20 м | 18…30 | 2 х NPN 2 х PNP | [http://www.sensorica.ru/images/ie_icon.gif](http://www.sensorica.ru/docs/DS60.shtml) | [http://www.sensorica.ru/images/pdf.gif](http://www.sensorica.ru/pdf/DS60.pdf) | [http://www.sensorica.ru/images/e-shop_basket_red.gif](http://www.sensorica.ru/cgi-bin/shopsearchname.pl?code=DS60) |
| датчик положения DME 2000 | **DME2000** | 0,1…2 м | 0,1…130 м | 18…30 | 0/4…20 мА, RS232 | [http://www.sensorica.ru/images/ie_icon.gif](http://www.sensorica.ru/docs/DME2000.shtml) | [http://www.sensorica.ru/images/pdf.gif](http://www.sensorica.ru/pdf/DME2000.pdf) | [http://www.sensorica.ru/images/e-shop_basket_red.gif](http://www.sensorica.ru/cgi-bin/shopsearchname.pl?code=DME2000) |
| http://www.sensorica.ru/images/12-1_7.png | **DME3000** | 0,1…10 м | 0,5…500 м | 18…30 | SSI, Profibus, RS422 | [http://www.sensorica.ru/images/ie_icon.gif](http://www.sensorica.ru/docs/DME3000.shtml) | [http://www.sensorica.ru/images/pdf.gif](http://www.sensorica.ru/pdf/DME_3000.pdf) | [http://www.sensorica.ru/images/e-shop_basket_red.gif](http://www.sensorica.ru/cgi-bin/shopsearchname.pl?code=DME3000) |

## Новинки

### Расширена линейка термостатов серии 2455R

[](http://www.sensorica.ru/news117.shtml)

[Доступен для заказа термостат на 12,8гр С включение/4,4 °С отключение.  
Точность поддержания температуры 2,8/4,4 °С соответственно...](http://www.sensorica.ru/news117.shtml)

Разделы: [термостаты](http://www.sensorica.ru/cgi-bin/rss.pl?tag=%F2%E5%F0%EC%EE%F1%F2%E0%F2%FB), [Honeywell](http://www.sensorica.ru/cgi-bin/rss.pl?tag=Honeywell)

### Датчики температуры LN222

[http://www.sensorica.ru/images/news116.jpg](http://www.sensorica.ru/news116.shtml)

[Фирма Heraeus выпустила на рынок новые датчики серии LN222, оптимизированные для бюджетных применений. Датчики доступны в сопротивлениях 100 и 1000 Ом и классах точности A и B, а диапазон измерений составляет -50…+400°С...](http://www.sensorica.ru/news116.shtml)

Разделы: [датчики температуры](http://www.sensorica.ru/cgi-bin/rss.pl?tag=%E4%E0%F2%F7%E8%EA%E8%20%F2%E5%EC%EF%E5%F0%E0%F2%F3%F0%FB), [Heraeus](http://www.sensorica.ru/cgi-bin/rss.pl?tag=Heraeus)

### Датчики расстояния Dx35

[](http://www.sensorica.ru/news115.shtml)

[Датчики расстояния Dx35 – это лучшее сочетание производительности, надежности, точности и цены. Благодаря своей способности точно измерять расстояние до объектов любого цвета и текстуры, их интегрирование в промышленное оборудование позволяет повысить его эффективность и надежность...](http://www.sensorica.ru/news115.shtml)

Разделы: [SICK](http://www.sensorica.ru/cgi-bin/rss.pl?tag=SICK), [датчики расстояния](http://www.sensorica.ru/cgi-bin/rss.pl?tag=%E4%E0%F2%F7%E8%EA%E8%20%F0%E0%F1%F1%F2%EE%FF%ED%E8%FF)

## Поиск по параметрам

[**Индуктивные датчики**](http://www.sensorica.ru/s1-2.shtml)  
[**Датчики меток**](http://www.sensorica.ru/s4-1.shtml)  
[**Датчики температуры**](http://www.sensorica.ru/d2.shtml)

Датчик давления — это устройство, в котором выходные параметры зависят от давления исследуемой среды, будь то жидкость, газ или пар. Современные системы не могут обойтись без точных приборов этого типа, они используются в системах автоматизации различных отраслей: энергетика, пищевая промышленность, нефтяная и газовая отрасль и многие-многие другие. У нас в каталоге, есть[раздел датчики давления с помощью которого, вы сможете выбрать и купить нужный вам датчик](http://www.devicesearch.ru/catalog/davlenie).

В состав любого датчика давления входит:

* первичный преобразователь давления с чувствительным элементом;
* различные по конструкции корпусные детали;
* схемы для повторной обработки сигнала.

## Классификация датчиков давления по принципу действия

### Оптические

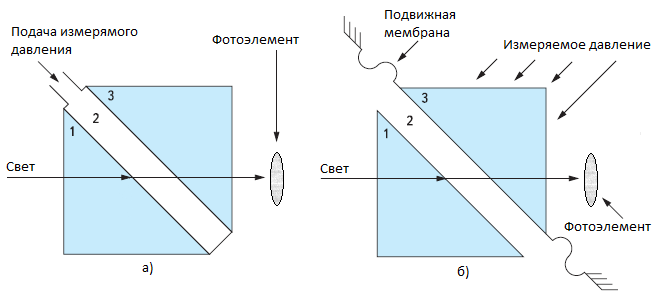
Оптические датчики давления могут быть построены на двух принципах измерения: волоконно-оптическом и оптоэлектронном.

#### Волоконно-оптические

Волоконно-оптические датчики давления являются наиболее точными и их работа не сильно зависит от колебания температуры. Чувствительным элементом является оптический волновод. Об измеряемой величине давления в таких приборах обычно судят по изменению амплитуды и поляризации проходящего через чувствительный элемент света. Более подробно об волоконно-оптических датчиках давления можно почитать [в этом PDF документе](http://www.devicesearch.ru/assets/files/firmpdf/vod.pdf).

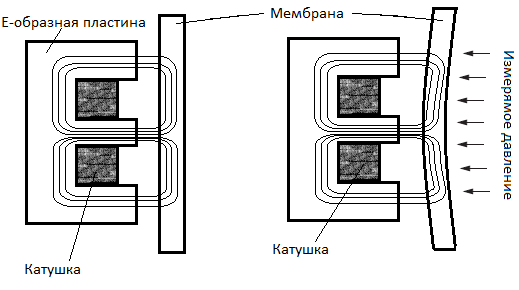
#### Оптоэлектронные

Датчики этого типа состоят из многослойных прозрачных структур. Через эту структуру пропускают свет. Один из прозрачных слоев может изменять свои параметры в зависимости от давления среды. Есть 2 параметра, которые могут изменяться: первый это показатель преломления, второй это толщина слоя. На иллюстрации показаны оба метода, изменение показателя преломления — рисунок а, изменение толщины слоя — рисунок б.



Понятно, что при изменении этих параметров будут меняться характеристики проходящего через слои света, это изменение будет регистрироваться фотоэлементом. Более подробно об оптоэлектронных датчиках давления можно почитать [в этом PDF документе](http://www.devicesearch.ru/assets/files/firmpdf/%D0%BE%D0%BF%D1%82%D0%BE%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9%20%D0%B4%D0%B0%D1%82%D1%87%D0%B8%D0%BA.pdf). К достоинствам датчика этого типа можно отнести очень высокую точность.

### Магнитные



Другое название таких датчиков — индуктивные. Чувствительная часть таких датчиков состоит их Е-образной пластины, в центре которой находится катушка, и проводящей мембраны чувствительной к давлению. Мембрана располагается на небольшом расстоянии от края пластины. При подключении катушки, создается магнитный поток, который проходит через пластину, воздушный зазор и мембрану. Магнитная проницаемость зазора примерно в тысячу раз меньше магнитной проницаемости пластины и мембраны. Поэтому, даже небольшое изменение величины зазора влечет за собой заметное изменение индуктивности.

### Емкостные

Имеет одну из наиболее простых конструкций. Состоит из двух плоских электродов и зазора между ними. Один из этих электродов представляет собой мембрану на которую давит измеряемое давление, вследствие, чего изменяется величина зазора. То есть, по сути, этот тип датчиков представляет собой конденсатор с изменяющейся величиной зазора. А как известно емкость конденсатора зависит от величины зазора. Емкостные датчики способны фиксировать очень маленькие изменения давления.

### Ртутные

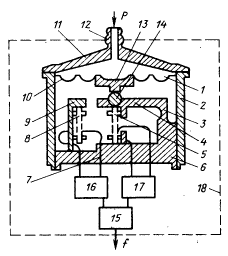
Тоже очень простой измерительный прибор. Работает по принципу сообщающихся сосудов. На один из этих сосудов давить измеряемое давление. Давление определяется по величине ртутного столба.

### Пьезоэлектрические

Чувствительным элементом датчиков этого типа является пьезоэлемент — материал, выделяющий эклектический сигнал при деформации (прямой пьезоэффект). Пьезоэлемент находится в измеряемой среде, он будет выделять ток пропорциональный величине изменения давления. Так как электрический сигнал в пьезоматериале выделяется только при деформировании, а при постоянном давлении деформирование не происходит, то этот датчик пригоден только для измерения быстро меняющегося давления.

### ПьезорезонансныеСхема пьезорезонатора

Этот тип тоже использует пьезоэффект, только в отличие от прошлого типа тут используется обратный пьезоэффект — изменение формы пьезоматериала в зависимости от подаваемого тока. В датчиках данного типа используется резонатор (например пластина) из пьезоматериала, на которую нанесены с двух сторон электроды. На электроды по переменно подается напряжение разного знака, таким образом пластина изгибается то в одну то в другую сторону с частотой подаваемого напряжения. Но если на эту пластину подать силу, например мембраной чувствительной к давлению, то частота колебания резонатора изменится. Частота резонатора и будет показывать величину, с которой давление давит на мембрану, а она в свою очередь давит на резонатор.

В качестве примера, на рисунке приведен пьезорезонансный датчика абсолютного давления. Он выполнен в виде герметичной камеры 1. Герметичность достигается соединением корпуса 2, основания 6 и мембраны 10, которая крепится к корпусу с помощью электронно-лучевой сварки. На основании 6 закреплены два держателя: 4 и 9. Держатель 4 крепится к основанию с помощью специально перемычки 3 и он держит силочувствительный резонатор 5. Держатель 9, установлен для крепления опорного пьезорезонатора 8.

Мембрана 10 передает усилие через втулку 13 на шарик 6, закрепленный в держателе 4. Шарик 4 передает силу давления на силочувствительный резонатор 5.

Провода 7 крепятся на основании 6 и служат для соединения резонаторов 5 и 8 с генераторами 17 и 16 Выходной сигнал абсолютного давления формируется схемой 15 из разности частот генераторов. Датчик давления помещен в активный термостат 18 с постоянной температурой 40 градусов Цельсия. Измеряемое давление подается через штуцер 12.

### Резистивные

По-другому этот тип датчиков называет тензорезистивный. Тензорезистор — это элемент, изменяющий свое сопротивление в зависимости от деформирования. Эти тензоризисторы устанавливают на мембрану чувствительную к изменению давления. В итоге, при давлении на мембрану она изгибается и изгибает тензоризисторы, закрепленные на ней. Вследствие чего, сопротивление на них меняется и меняется величина тока в цепи.

## На какие параметры нужно обращать внимание при покупке датчиков давления

1. **Вид давления**. Очень важно понимать какой вид давления необходимо измерять. Существует 5 типов: абсолютное, дифференциальное(относительное), вакуум, избыточное, барометрическое. Для лучшего понимания разницы между ними, рекомендуем прочитать статью «[виды давления](http://www.devicesearch.ru/article/tipy_davleniya)».
2. **Диапазон измеряемого давления**.
3. **Степенью защиты прибора**. В разных отраслях использования датчиков будут разные условия эксплуатации, для которых необходимы разные степени защиты от проникновения воды и пыли. Определитесь, какую [степень защиты электроприбора](http://www.devicesearch.ru/article/142)нужно выбрать именно вам.
4. **Наличие термокомпенсации**. Температурные эффекты, такие как расширение материалов, могут наложить достаточно сильные помехи на выходные показания датчика. Если у вас происходят постоянное изменение температуры измеряемой среды, то термокомпенсация необходима. Обратите также внимание на границы температур. Например, у датчика [ST250PG2BPCF](http://www.devicesearch.ru/catalog/davlenie/tenzorezistivnie/763) есть термокомпенсация в пределах от -40 до 100 градусов Цельсия.
5. **Материал**. Материал может оказать решающую роль при использовании датчика в агрессивных средах, в таком случае необходим выбор материала с высокой коррозийной стойкостью.
6. **Вид выходного сигнала**. Важно определиться какой вид нужен вам. Аналоговый или цифровой? Если аналоговый, то какие диапазоны выходных сигналов и сколько проводов? Например, диапазоны могут быть 4...20 мА.

## Производители и дилеры

В нашем каталоге представлены датчики давления, которые можно приобрести у следующих производителей и дилеров: [Honeywell International](http://www.devicesearch.ru/firms?service=viewprofile&username=honeywell), [Компэл](http://www.devicesearch.ru/firms?service=viewprofile&username=compel), [Freescale Semiconductor, Inc](http://www.devicesearch.ru/firms?service=viewprofile&username=FRS), [Omron Electronics LLC](http://www.devicesearch.ru/firms?service=viewprofile&username=Omron), [ST Microelectronics](http://www.devicesearch.ru/firms?service=viewprofile&username=ST), [BD Sensors RUS](http://www.devicesearch.ru/firms?service=viewprofile&username=Michael_K).

## Принципы работы оптических датчиков

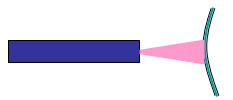
* [Печать](http://www.optiz.ru/sitemap-1/sitemap-info/sitemap-info-our-technics/sitemap-info-our-technics-fiberoptic-sensors-work?tmpl=component&print=1&page=)
* [E-mail](http://www.optiz.ru/component/mailto/?tmpl=component&template=antareskomfort&link=5ec402b82e429ebef8029ccc8da50dd704f011a0)

Обновлено 05.10.2013 19:12

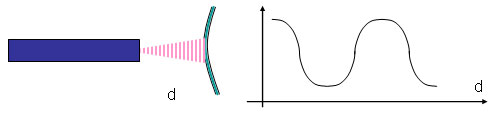
**Связанные статьи**

* [Мониторинг нагруженного (деформированного) состояния строительных конструкций](http://www.optiz.ru/sitemap-1/sitemap-info-o-company/sitemap-info-o-company-our-jobs/sitemap-info-o-company-our-jobs-stroymonitoring)
* [Мониторинг нагруженного (деформированного) состояния инженерных и промышленных объектов](http://www.optiz.ru/sitemap-1/sitemap-info-o-company/sitemap-info-o-company-our-jobs/sitemap-info-o-company-our-jobs-prommonitoring)
* [Квазираспределенные измерения](http://www.optiz.ru/sitemap-1/sitemap-info/sitemap-info-our-technics/sitemap-info-our-technics-psevdoallocate-sensors)
* [Точечные измерения](http://www.optiz.ru/sitemap-1/sitemap-info/sitemap-info-our-technics/sitemap-info-our-technics-point-sensors)
* [ОАО «ЭКОС»](http://www.optiz.ru/sitemap-razrabotka/sitemap-razrabotka-projects/sitemap-razrabotka-projects-ekos)
* [Оптическое волокно](http://www.optiz.ru/sitemap-1/sitemap-info/sitemap-info-our-technics/sitemap-info-our-technics-optic-fiber)
* [ООО НПФ «Фундаментстройпроект»](http://www.optiz.ru/sitemap-razrabotka/sitemap-razrabotka-projects/sitemap-razrabotka-projects-fundamentstroyproject)
* [ДОАО «Оргэнергогаз»](http://www.optiz.ru/sitemap-razrabotka/sitemap-razrabotka-projects/sitemap-razrabotka-projects-orgenergogaqz)
* [Оптоволоконный датчик температуры промышленный ДТП-1](http://www.optiz.ru/sitemap-produts/sitemap-products-termosensors/sitemap-products-termosensors-dtp-1)
* [Оптоволоконный датчик температуры универсальный ДТУ-1](http://www.optiz.ru/sitemap-produts/sitemap-products-termosensors/sitemap-products-termosensors-dtu-1)
* [Оптоволоконный датчик деформации (давления на грунт) ДГ-1](http://www.optiz.ru/sitemap-produts/sitemap-products-tenzosensors/sitemap-products-tenzosensors-dg-1)
* [Оптоволоконный датчик деформации ДП-1](http://www.optiz.ru/sitemap-produts/sitemap-products-tenzosensors/sitemap-products-tenzosensors-dp-1)
* [Оптоволоконный датчик деформации ДП-2](http://www.optiz.ru/sitemap-produts/sitemap-products-tenzosensors/sitemap-products-tenzosensors-dp-2)
* [Спектрометр ПНС-12.U. Стоечное исполнение](http://www.optiz.ru/sitemap-produts/sitemap-products-spectrometers/sitemap-products-spectrometers-pns12u)
* [Спектрометр ПНС-12.П. Переносное исполнение](http://www.optiz.ru/sitemap-produts/sitemap-products-spectrometers/sitemap-products-spectrometers-pns12p)
* [Спектрометр ПНС-12.Н. Настенное исполнение](http://www.optiz.ru/sitemap-produts/sitemap-products-spectrometers/sitemap-products-spectrometers-pns12n)
* [Спектрометр ПНС-12.С. Настольное исполнение](http://www.optiz.ru/sitemap-produts/sitemap-products-spectrometers/sitemap-products-spectrometers-pns12c)
* [Многоканальная система измерения деформации и температуры АСИД-12](http://www.optiz.ru/sitemap-produts/sitemap-products-monitorng-systems/sitemap-products-monitorng-systems-monotiring-acid12)

## 1. Амплитудные датчики

**Принцип действия**: потери на отражении, изгибах  
**«+»** простота, высокая скорость работы  
**«-»** большая погрешность, подверженность дрейфам

## 2. Когерентная интерферометрия (фазовые датчики)

**Принцип действия**: лазерная интерферометрия  
**«+»** высокая чувствительность, высокая скорость работы  
**«-»** сложность, проблемы с фазой

## 3. Широкополосная интерферометрия (спектральные датчики)

### Датчики на основе решеток Брегга

|  |  |
| --- | --- |
| Датчики на основе решеток Брегга | |
|  | **Измеряемые величины**: деформация, температура. **«+»** множество датчиков на одном кабеле (до 50 штук) **«-»** средняя чувствительность |

### 

### Датчики на основе интерферометра Фабри-Перо

|  |  |
| --- | --- |
| Датчики на основе интерферометра Фабри-Перо | Датчики на основе интерферометра Фабри-Перо |
| **Измеряемые величины**: деформация, вибрация, давление, наклон... **«+»** высокая чувствительность, удобство подключения, многофункциональность блока **«-»** сложность обработки спектра |

### Микрорезонаторный интерференционный волоконно-оптический датчик относительной влажности воздуха.

**Введение.**

Среди всего многообразия волоконно-оптических датчиков можно выделить те, принцип работы которых основан на изменении резонансной частоты миниатюрного резонатора под действием измеряемого параметра. При этом интенсивность света, подводимого по оптическому волокну к чувствительному элементу, оказывается промодулированной на резонансной частоте механического резонатора. Такой выходной сигнал значительно менее чувствителен к вариациям мощности лазерного источника и случайным затуханиям в волокне. Для детектирования колебаний резонатора можно использовать волоконно-оптический интерферометр Фабри-Перо, образованный выходным торцом волокна и частично отражающей поверхностью резонатора. Интерференционный способ детектирования колебаний позволяет работать с амплитудами порядка одной десятой микрона. При этом размеры самого резонатора могут быть сопоставимы с диаметром волокна. Поэтому такие датчики часто называют микрорезонаторными. Если колебания микрорезонатора также возбуждать чисто оптически при помощи модулированного по интенсивности света, то чувствительный элемент такого датчика будет полностью пассивным, так как он не будет содержать электронных цепей и электронных компонент. В силу этого он может быть использован в зоне повышенной взрывоопасности и сильных электромагнитных помех. Вопрос стоит лишь в том, как преобразовать тот или иной измеряемый параметр в частоту собственных колебаний микрорезонатора, обеспечив при этом высокую чувствительность к измеряемому параметру и нечувствительность к другим паразитным воздействиям на микрорезонатор. В данной работе мы описываем идею волоконно-оптического датчика относительной влажности воздуха на основе кремниевого микрорезонатора. При этом акцент сделан более на физических принципах его работы, а не на вопросах точности и поверки.

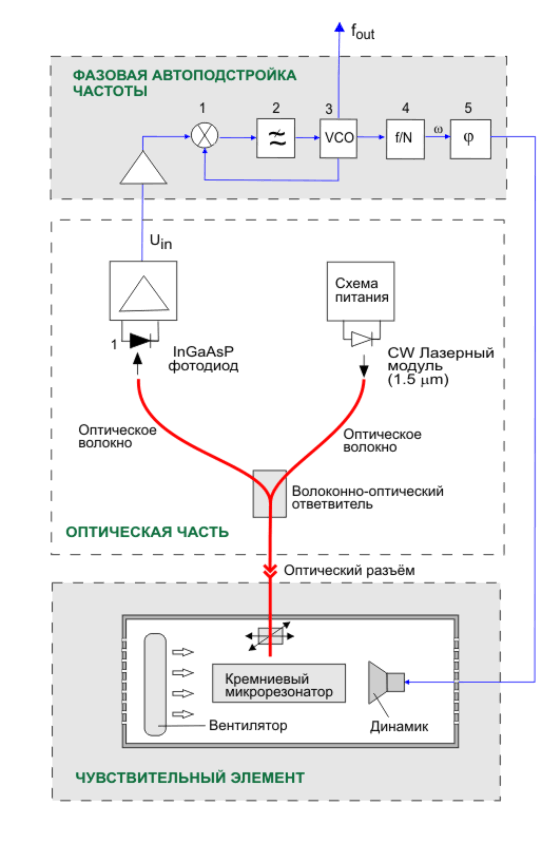
Можно назвать следующие отличительные особенности датчика:  
1) Высокая чувствительность и точность при влажности менее 75%.  
2) Низкая зависимость показаний датчика от температуры воздуха.  
3) Измерение относительной влажности при отрицательных температурах.  
4) Возможное оптическое возбуждение микрорезонатора делает чувствительный элемент полностью пассивным.

**Физические принципы работы датчика и экспериментальные результаты.**

В качестве чувствительного элемента датчика используется кремниевый механический резонатор, чувствительный к относительной влажности воздуха При изменении относительной влажности от 100% до 0% его резонансная частота изменялась от 2,21 до 2,54 кГц. Для увеличения быстродействия датчика внутри корпуса с чувствительным элементом был установлен вентилятор, который создавал поток воздуха вблизи резонатора. Резонансные колебания возбуждались акустически при помощи миниатюрного динамика. Добротность резонатора составляла около 1000. Примечание: в данной интернет-публикации мы не раскрывает детали конструкции микрорезонатора и схемы обработки сигнала.

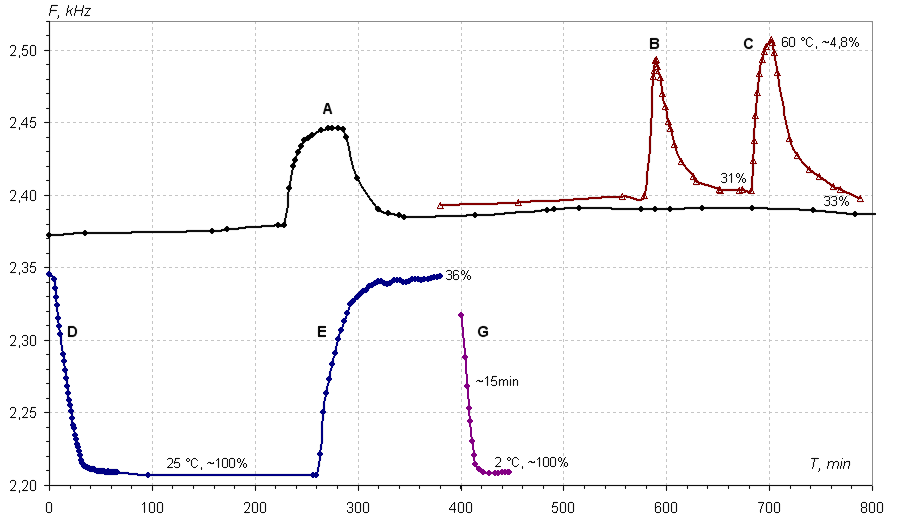
Колебания микрорезонатора регистрировались при помощи волоконно-оптического интерферометра Фабри-Перо, образованного торцом волокна и частично отражающей поверхностью резонатора. Мы работали внутри одной полосы интерферометра, так что амплитуда колебаний микрорезонатора составляла примерно 1/8 длины волны света, т.е. около 0,2 микрометра. При колебаниях микрорезонатора изменялась отражающая способность интерферометра и фотоприёмник регистрировал модуляцию интенсивности света на частоте колебаний резонатора.

Кристалл лазера был стабилизирован по температуре, что обеспечивает постоянство модового состава. Для этого он установлен на элементе Пельтье и, используя термодатчик, также вмонтированный в корпус лазерного модуля, заведена обратная связь, обеспечивающая неизменность температуры. Также сзади лазерного кристалла установлен фотодиод. Его сигнал контролирует ток, текущий через лазер, что обеспечивает неизменность его мощности. Фотоприёмник реализован по трансимпедансной схеме. Всё сделано на одномодовых разъёмах FC с высокой полировкой.

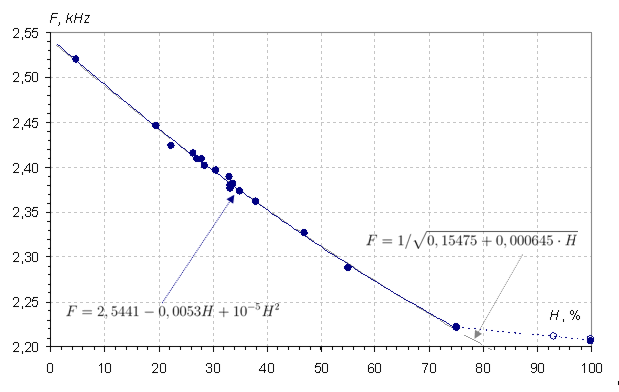
  
Рис.1. Схема макета датчика. Блок фазовой автоподстройки частоты содержит следующие элементы: 1 – синхронный детектор, реализованный на аналоговых ключах, 2 – фильтр низкой частоты, 3 – управляемый напряжением генератор, 4 – делитель частоты, 5 – модуль сдвига фазы.

Существует несколько способов определения резонансной частоты высокодобротной механической системы. При ручном способе частота генератора подстраивается таким образом, чтобы амплитуда колебаний была максимальной. При автоматическом определении резонансной частоты можно использовать следующие метод. 1) Импульсное возбуждение колебаний с последующим определением частоты затухающих свободных колебаний. 2) Шумовое возбуждение резонатора с последующим быстрым Фурье-преобразованием выходного сигнала. 3) Использование фазовой автоматической подстройки частоты (ФАПЧ). Мы испытали способы 2) и 3), которые в силу высокой добротности резонатора позволяли отслеживать резонансную частоту с точностью около 0,1 Гц.

При использовании ФАПЧ приходилось учитывать, что среднее расстояние между отражателями интерферометра (резонатором и торцом волокна) медленно изменялось, так что время от времени интерферометр выходил из линейного режима работы и амплитуда гармоники на резонансной частоте обращалась в ноль. Чтобы предотвратить прерывание генерации мы использовали двухканальный ФАПЧ, который работал как с первой гармоникой интерференционного сигнала, так и с его второй гармоникой.

  
Рис.2. Изучение переходных характеристик датчика.

На рис.2 представлены переходные характеристики датчика. A – чувствительный элемент датчика (ЧЭ) помещён в поток воздуха с температурой 35 °C. После установления новой резонансной частоты вентиляция была отключена и датчик вернулся в исходную атмосферу помещения. В и С – ЧЭ помещён на несколько минут в поток воздуха с температурой около 60°C и влажностью около 5%. D – ЧЭ при температуре около 25°C был помещён на поддон с водой и накрыт влажной тканью. Таким образом, относительная влажность воздуха была близка к 100%. Е – ЧЭ вернулся в исходную атмосферу помещения с влажностью около 36%. G – аналогично D ЧЭ был помещён под влажную ткань, но при температуре 2°C. Использовался режим вентилятора с увеличенной скоростью обдувания резонатора. Скорость установления показаний на новой частоте составила около 15 мин. Установившаяся частота при 2°C совпадала с той, которая была при 25°C. Таким образом, в пределах точности эксперимента зависимость показаний датчика от температуры не наблюдалась.

  
Рис.3. Изучение чувствительности датчика.

На рис.3 показаны результаты исследования чувствительности датчика. Экспериментальные точки были получены в разные дни, при различных влажностях и температурах. Также были использованы разные методы регистрации резонансной частоты и разные амплитуды колебаний микрорезонатора. Чтобы установить соответствие между изменениями резонансной частоты и относительной влажности воздуха, последняя определялась при помощи аспирационного психрометра. При относительной влажности менее 75% кривая хорошо описывается имеющей физический смысл формулой *F*=*F*0{1+0,00416 *H*}-1/2, где *F*0=2,542 кГц – частота резонатора при нулевой относительной влажности (определяется экстраполяцией кривой). В пределах точности эксперимента гистерезис показаний датчика не наблюдался. Точка, соответствующая 75% влажности воздуха, была получена в результате стандартной калибровки над насыщенным раствором NaCl. Две точки, соответствующие относительной влажности ~100% были сняты при температуре 25°C и 2°C. При этом резонансные частоты совпали в пределах точности эксперимента. Также на общую кривую ложились и точки, снятые при отрицательной температуре.

Чувствительность датчика в области низкой и средней влажности составила примерно 5 Гц/%. Т.е. при изменении влажности воздуха на 1% резонансная частота изменялась на 5 Гц. При этом ширина резонансной кривой составляла чуть больше 2 Гц. Даже визуально в ручном режиме резонансную частоту удавалось фиксировать с точностью около 0,1 Гц, что соответствует вариации относительной влажности на 0,02%.

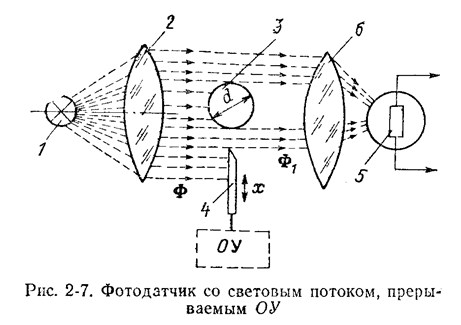
**Заключение и выводы.**

В настоящей работе показана принципиальная возможность создания микрорезонаторного волоконно-оптического датчика относительной влажности воздуха. Чувствительность макета датчика при влажности менее 75% составляла 5 Гц/%. При точности фиксации резонансной частоты 0,1 Гц пороговая чувствительность датчика составляла 0,02%. Относительная влажность измерялась в том числе и при отрицательных температурах воздуха. Полученные при разных температурах эксперементальные точки ложились в пределе точности эксперимента на общую кривую. Это указывает на низкую зависимость показаний датчика от температуры воздуха. Использование оптического возбуждения микрорезонатора делает чувствительный элемент полностью пассивным (этот элемент конструкции не был отработан в полной мере, хотя его осуществимость была подтверждена в экспериментах с другими микрорезонаторами).

**Фотоэлектрические датчики (фотодатчики)** используются в автоматике для преобразования в электрический сигнал различных неэлектрических величин: механических перемещений, скорости размеров движущихся деталей, температуры, освещенности, прозрачности жидкой или газовой среды и т. д.

   По принципу кодирования информации фотодатчики можно разделить на две группы: с амплитудной модуляцией светового потока и с временной или частотной модуляцией. У датчиков с амплитудной модуляцией значение фототока пропорционально световому потоку, зависящему от управляемой (контролируемой) неэлектрической величины. У датчиков с временной или частотной модуляцией фототок изменяется дискретно за счет полного или частичного прерывания светового потока от воздействия неэлектрической величины. Информация об управляемом (контролируемом) параметре кодируется в этих датчиках в виде числа, частоты или длительности импульсов фототока.

**Фотодатчик** в общем случае состоит из фотоэлектрического чувствительного элемента (фотоэлемента) источника света и оптической системы. В некоторых случаях фотодатчики используют световое излучение объекта управления (контроля) и не содержат источника света (датчики астрономического компаса, температуры, освещенности и др.). Некоторые датчики с целью упрощения конструкции могут не содержать оптической системы.

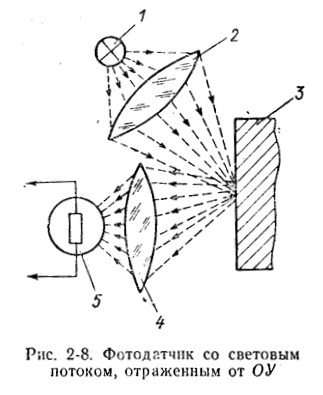


   В большинстве фотодатчиков преобразование входной неэлектрической величины в электрический сигнал осуществляется в два этапа: сначала происходит ее преобразование в изменение одного из параметров светового потока (силы света, освещенности, спектрального состава и т. п.), а затем это изменение преобразуется фотоэлементом в электрическую величину (фототок, падение напряжения, фото-ЭДС и т. д.).

   Все фотодатчики по характеру формирования воздействия светового потока на фотоэлемент можно разделить на несколько видов.

1.     **Фотодатчики, у которых световой поток изменяется за счет перемещения объекта управления (контроля) или изменения размеров объекта** (рис. 2-7). В этих датчиках источник света 1 и оптическая система (конденсор) 2 формируют параллельный и равномерный световой поток Ф.. В этом световом потоке помещается     деталь З, размеры которой нужно контролировать, или заслонка 4, связанная механически с ОУ и перекрывающая часть светового потока. При изменении размера детали d или при перемещении заслонки х изменяется количество света (лучистой энергии), попадающего на фотоэлемент 5. Для повышения чувствительности световой поток Ф1, содержащий информацию о размерах детали (или о перемещении объекта), собирается оптической системой 6 и фокусируется на светочувствительную поверхность фотоэлемента. По такому принципу работают датчики фотоэлектрических микрометров, датчики длины, площади, деформаций и т. д. На этом принципе основана работа и дискретных фотодатчиков, таких, как фотоэлектрические датчики (преобразователи) «угол — код», датчики частоты вращения, фотосчитывающие датчики с перфолент, перфокарт, фотодатчики конца магнитной ленты, датчики размеров петли магнитной ленты, находящейся в кармане лентопротяжного механизма ЗУ на магнитной ленте, и т. д.

2.     **Фотодатчики, у которых световой поток попадает на фото элемент после отражения от объекта управления (контроля)** (рис. 2-8). В этих фотодатчиках источник света 1 и оптическая система 2 формируют узкий световой луч, который после отражения от объекта З попадает через собирающую и фокусирующую оптическую систему 4 на фотоэлемент 5. Количество отраженного света, попадающего на фотоэлемент, зависит от отражательной способности поверхности объекта (чистоты обработки, блесткости, наличия участков, покрытых краской, и т. п.). Такие фотодатчики используются в читающих автоматах, способных автоматически считывать и кодировать информацию с текстовых и графических документов, в измерителях чистоты поверхности, фотоэлектрических рефлектометрах, гигрометрах и пр.



3.     **Фотодатчики, у которых световой поток создается объектом управления (контроля)** (рис.2-9). В этих фотодатчиках световой поток, излучаемый ОУ, содержит информацию об управляемом (контролируемом) параметре объекта 1. Оптическая система 2 собирает и фокусирует световой поток на светочувствительную поверхность фотоэлемента З. Подобные фотодатчики используются в фотоэлектрических измерителях температуры, дозиметрах лучистой энергии, приборах для эмиссионного спектрального анализа.

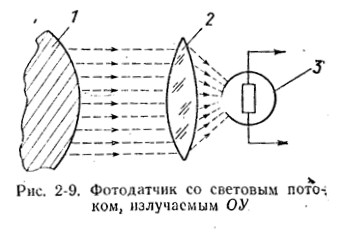
   В качестве чувствительных элементов в фотодатчиках используются фотоэлементы с внешним, вентильным и внутренним фотоэффектом.

***Фотоэлементы с внешним фотоэффектом***

Это вакуумные и газонаполненные фотоэлементы, фотоумножители обладают высокой линейностью световой характеристики (зависимость фототока от светового потока), высокой температурной стабильностью характеристик. Однако они имеют и ряд существенных недостатков, ограничивающих их применение в устройствах автоматического управления и контроля: необходимость в повышенном напряжении питания (сотни и тысячи вольт); хрупкость стеклянного баллона и возможность деформации электродов при механических воздействиях; старение и утомляемость фотоэлементов (снижение чувствительности при сильной освещенности).

***Вентильные фотоэлементы***

Они отличаются Высокой надежностью и долговечностью не нуждаются в источнике питания, имеют малую массу и габариты. Недостатками их являются: сильное влияние окружающей температуры; утомляемость и высокая инерционность, ограничивающая применение при частоте прерывания светового потока в несколько десятков герц.



***Фотодиоды*** и ***фототриоды***

широко применяются в фотодатчиках различного типа. Они имеют линейную световую характеристику, высокую чувствительность, малую инерционность (частота прерывания светового потока может быть до нескольких килогерц), малые габариты. В зависимости от схемы включения различают вентильный и фотодиодный (фототриодный) режимы работы фотодиодов и фототриодов.

   В *вентильном режиме* фотодиод является генератором фото тока и не нуждается в источнике питания. Фототриод в вентильном режиме можно рассматривать как комбинированный электронный прибор — фотодиод (*п-р*-переход цепи база — эмиттер) и собственно триод, усиливающий фототок, который возникает в цепи база — эмиттер под действием светового потока. База фототриода в этом режиме замыкается накоротко с эмиттером. В вентильном режиме фотодиоды и фототриоды используются в фотодатчиках с пропорциональной световой характеристикой (измерение размеров, перемещений, температуры и т. д.).

   В *фотодиодном режиме* к фотодиоду нужно приложить в обратном запирающем направлении внешнее напряжение. У фототриодов в фототриодном режиме в цепь базы подается напряжение смещения от внешнего источника. Фотодиодный (фототриодный) режим включения фотодиодов (фототриодов) используется в основном в фотодатчиках с дискретной световой характеристикой (фотосчитывающие устройства с перфолент, перфокарт, фотоэлектрические преобразователи «угол—код», читающие автоматы и т. д.). В фотодиодном (фототриодном) режиме фотодиоды и фототриоды имеют большую чувствительность, чем в вентильном (выходным сигналом в этом режиме является напряжение).

***Фоторезисторы***

наряду с фотодиодами и фототриодами находят широкое применение, причем в основном в фотодатчиках с дискретной световой характеристикой. Достоинством фоторезисторов является высокая чувствительность, стабильность параметров, большая надежность и долговечность, возможность работы, как на постоянном, так и на переменном токе, малые габариты. К их недостаткам следует отнести большую инерционность, сильное влияние окружающей температуры, нелинейность световой характеристики, большой разброс параметров у фоторезисторов одной партии.

   В качестве источников световой энергии в некоторых фотодатчиках используется сам ОУ (при измерении температуры, освещенности и т.п.). Большинство же фотодатчиков

нуждается в искусственном источнике светового потока. Наибольшее распространение в качестве такого источника в фотодатчиках получили недорогие и простые в эксплуатации

лампы накаливания. С целью повышения их надежности и долговечности рабочее

напряжение снижают на 20—З0 % по сравнению с номинальным.

   Для работы в инфракрасной области спектра применяют специальные излучатели в виде штифтов из жаропрочных полупроводниковых материалов. Менее распространены в фотодатчиках газоразрядные лампы. Они имеют высокую светоотдачу и потребляют при этом в 2—З раза меньше энергии, чем лампы накаливания. Однако номенклатура этих ламп ограничена, габариты их больше, чем ламп накаливания.

    Оптические системы фотодатчиков служат для перераспределения в пространстве потока лучистой энергии с целью повышения эффективности воздействия объектов управления (контроля) на параметры лучистого потока. Функции оптических систем фотодатчиков весьма разнообразны и требуют применения самых различных линз, зеркал, призм, диафрагм, дифракционных решеток, светофильтров и т. д.

   С целью повышения помехоустойчивости в некоторых фотодатчиках размещается предварительный усилитель выходного сигнала фотоэлемента. Для этой цели в настоящее время в основном используют микроэлектронные операционные усилители.

   В целом, оценивая **фотодатчики**, следует отметить их большую универсальность, отсутствие обратного воздействия на объект управления (контроля) — бесконтактность. Недостатками фотодатчиков являются чувствительность к вибрациям, ударам, плохая работа в запыленной, загазованной и влажной среде, помехи от осветительных приборов общего освещения.