

# Инфракрасные датчики газа SGX: путь к безопасности и энергоэффективности

Александр ЧЕРНЕНКОВ  
chernenkov@ranet.ru

**Безопасность работы в шахте и на химическом производстве, комфортная атмосфера в доме и салоне автомобиля, определение утечек и состава газа — все это осуществимо с помощью датчиков газа компании SGX Sensortech. Компания производит множество типов датчиков: пеллисторные, термокаталитические, полупроводниковые, микроэлектромеханические. Но наибольших успехов SGX достигла в создании ИК-датчиков газа. О преимуществах этих приборов перед другими типами датчиков и способах их применения пойдет речь в настоящей статье.**

## Что такое ИК-датчики и как они применяются?

Требования безаварийной работы и более высокого уровня надежности заставили многих пользователей сделать выбор в пользу инфракрасных датчиков газа. Датчики такого типа, как правило, содержат импульсный источник ИК-излучения, которое поглощается каждым видом газа пропорционально длине его волны и концентрации. Длина волны ИК-излучения выбирается исходя из конкретного газа, например метана или углекислого газа. Этот метод обнаружения газа достаточно надежен и безопасен, хотя цена приборов, выполненных на его основе, обычно выше, чем решений на базе пеллисторов. Однако в отличие от пеллисторов инфракрасные датчики имеют сертификаты для работы в окружении, требующем искробезопасного и взрывозащищенного исполнения [1].

Основные преимущества ИК-датчиков газа: взрывобезопасность, не требуют наличия кислорода, нет движущихся частей, устойчивость к вибрации, возможность

определения концентрации в диапазоне 0–100%, высокая точность измерений, хорошая чувствительность и избирательность газов, длительный цикл эксплуатации.

С точки зрения простоты интеграции в измерительное и контрольное оборудование ИК-датчики также имеют преимущество над пеллисторами, поскольку не нуждаются в сложных схемотехнических решениях для получения высоких показателей точности и микропроцессорах для линеаризации и температурной компенсации. Компания e2v предлагает ИК-датчики для определения наличия следующих газов:

- углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ). Датчики этого типа с диапазонами измерения 0–5% и 0–100% находят широкое применение в автомобильной технике — в системе фильтрации отработанных газов, а также в контроле микроклимата салона;
- метан ( $\text{CH}_4$ ). Эти датчики используются в приборах контроля содержания метана в шахтах, газосигнализаторах и газоанализаторах. Другое применение — в переносных и домашних системах контроля утечек газа (рис. 1);
- гидроксид углерода (HC). Применение — системы безопасности на производстве, такие как газоанализаторы и газосигнализаторы;
- ацетилен ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ). Применение — системы безопасности на производстве, в частности газоанализаторы и газосигнализаторы;
- биогаз (смесь  $\text{CO}_2 + \text{CH}_4$ ). Датчики смеси углекислого газа и метана могут использоваться в системах контроля и управления биогазовой установкой.

Все вышеперечисленные варианты датчиков могут применяться как отдельно, так

и вместе, в составе единого комплекса измерений, что значительно повышает эффективность [2].

## Физические принципы функционирования инфракрасного датчика

### Взаимодействие ИК-излучения с молекулой

Определением газа является измерение выходного сигнала, сформированного преобразованием поглощенного газом инфракрасного излучения. ИК-излучение — часть электромагнитного спектра, обычно поглощаемая молекулами газа. Когда длина волны излучения совпадает с собственной частотой колебания молекул, их энергетическое состояние изменяется. Другими словами, амплитуда колебаний атомов увеличивается при поглощении излучения с определенной длиной волны. Поглощение ИК-излучения увеличивает температуру газа.

ИК-излучение реагирует с дипольной молекулой газа. Молекулярный диполь формируется, когда колебания молекулы несимметричны относительно разных атомов или же атомы расположены несимметричным образом. Колеблясь, атомы деформируют межатомные связи, которые образуют дипольный или мультипольный момент. Это показано на рис. 2 для молекулы  $\text{SO}_2$ .

Симметричные молекулы не возбуждаются ИК-излучением, так как не создают диполей. Некоторые двойные молекулы, типа  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2$  и  $\text{N}_2$ , являются прекрасным примером симметричной молекулы, имеющей симметричное (рис. 2а) и несимметричное (рис. 2б) направление колебания. Углеводороды в ос-



Рис. 1. ИК-датчик газа SGX Sensortech

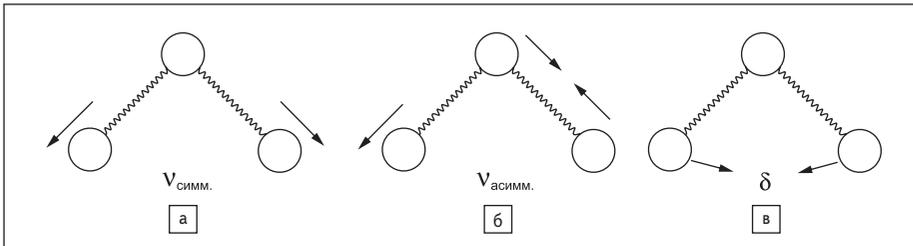


Рис. 2. Колебания атомов в молекуле  $\text{SO}_2$ : а) симметричное; б) асимметричное; в) деформационное

новном активизируются ИК-излучением по связям С-Н. Когда число связей С-Н растет, абсорбционная кривая выражается сильнее, поскольку абсорбционные пики на диаграмме формируются в группы. Интенсивность излучения молекул газа, в зависимости от длины волны, называется абсорбционным спектром.

### Абсорбционные спектры газов

Использование инфракрасного излучения обеспечивает ряд преимуществ по сравнению с каталитическим методом определения химического состава и концентрации газа. Главная особенность данной методики заключается в том, что узкополосные фильтры излучения используются вместе с отдельным ИК-детектором для обнаружения нескольких диапазонов спектра поглощения газов в определенном диапазоне длин волн.

Простота конструкции ИК-датчика позволяет легко применять его в системах безопасности, требующих сертификации. В случае комплексного химического строения молекулы наблюдается серия резонансных вибраций. Обычно это выглядит как набор абсорбционных пиков на диаграмме, построенный относительно длины волны. Это называется абсорбционным спектром. На рис. 3 демонстрируются абсорбционные спектры газов, которые могут быть определены с помощью ИК-датчиков производства компании SGX [3].

### Недисперсионное ИК-излучение

В различных ИК-датчиках газа спектрометра выявляет не только тип или природу целевого газа, но и его концентрацию. Для этого используется недисперсионное ИК-излучение. Дисперсионное, то есть распадающееся на спектр при прохождении

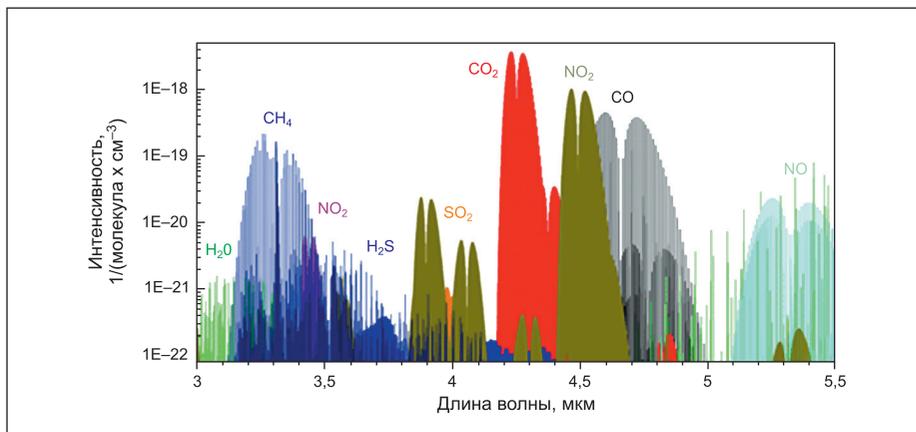


Рис. 3. ИК-спектрограмма паров воды ( $\text{H}_2\text{O}$ ), метана, оксида азота, сероводорода, оксида серы, углекислого газа, оксида углерода

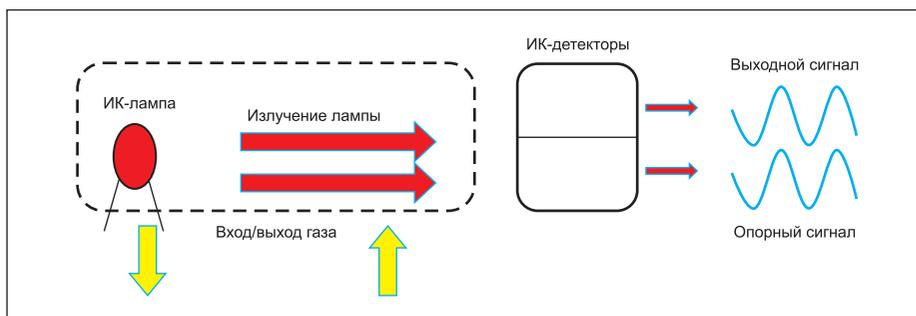


Рис. 4. Схема недисперсионного ИК-датчика

границ среды, ИК-излучение не подходит для этой цели.

При применении этого излучения используются отдельные ИК-фильтры с узкой полосой пропускания, входящие в состав единого комплекса и позволяющие определять абсорбционные линии нескольких газов. В результате может быть создан недорогой и компактный, но точный встраиваемый сенсорный модуль. Таким образом, концентрация газа может быть определена в реальном времени с помощью простых алгоритмов расчета микропроцессорного изделия.

### Выбор длины волны для определения газа

Выбор длины волны для определения газа контролируется существующим выходным спектром источника ИК-излучения. Спектр поглощения воды показывает сильное поглощение на длинах волн менее 3, 5–8 и после 16 мкм. Если спектральные линии определяемого газа находятся в этих областях, то наблюдаются помехи из-за присутствия влаги. Следовательно, наилучшие результаты работы будут в области 8–16 и 3–5 мкм, в которых расположены спектральные линии большого количества газов. В датчиках SGX область 3–5 мкм выбрана по следующим причинам:

1. Большое количество абсорбционных линий в областях спектра 3–3,5 мкм для углеродоводородов и 4,2 мкм для  $\text{CO}_2$  (рис. 3).
2. Стандартная ИК-лампа со стеклянным корпусом испускает излучение с длиной волны до 5 мкм. Область свыше 8 мкм требует применения более дорогого источника ИК-излучения. Кроме того, точность определения линий поглощения снижается, поэтому данная область используется редко. Диапазон 5–8 мкм не используется по вышеуказанным причинам.
3. Нет линий поглощения газа на длине волны 4 мкм, что позволяет установить опорный сигнал в этом спектре.

### Принцип работы ИК-датчика газа

На рис. 4 показана схема работы типичного сенсорного элемента ИК-датчика газа, включающего источник ИК-излучения, детектор ИК-излучения, абсорбционный элемент со входом для газа и отражающими поверхностями, а также опорный ИК-детектор для измерения опорного сигнала. Интенсивность излучения после поглощения (выходной сигнал) сравнивается с интенсивностью до поглощения (опорный сигнал).

Таким образом, зная значение интенсивности и применяя закон Бугера — Ламберта, получаем:

$$I(l) = I_0 e^{-kl \cdot l},$$

где  $I_0$  — интенсивность входящего пучка,  $l$  — толщина слоя вещества, через которое

проходит свет,  $k_\lambda$  — показатель поглощения, который связан с концентрацией как:

$$k_\lambda = x_\lambda C,$$

где  $x_\lambda$  — коэффициент, характеризующий взаимодействие молекулы поглощающего растворенного вещества со светом с длиной волны  $\lambda$ ,  $C$  — концентрация газа, моль/л.

Закон Бугера — Ламберта используется в алгоритмических вычислениях микропроцессора датчика при определении газа.

### Влияние температуры и давления окружающей среды

Если температура и давление окружающей среды изменяются, то концентрация газа может быть измерена по закону идеального газа:

$$C = kPV/T,$$

где  $k$  — постоянная Больцмана, равная  $1,38 \times 10^{-23}$  Дж/К,  $P$  — давление,  $V$  — объем,  $T$  — температура в кельвинах. Алгоритмы расчетов могут быть изменены, если используются выносные датчики температуры и давления. И конечно, любые изменения в самой системе датчика не отражаются на расчете по закону идеального газа.

Кроме того, ИК-датчик газа может быть подвержен влиянию температуры окружающей среды, что приводит к некорректному выходному сигналу. При использовании независимых датчиков линейность характеристик может быть в диапазоне  $-40 \dots +75$  °С. Это минимизирует изменения в программном обеспечении. Серия датчиков газа IR15T содержит в своем составе датчик температуры, что улучшает точность газоопределения.

### Выводы

В статье было рассмотрено устройство ИК-датчика газа, принципы его работы, а также преимущества и недостатки использования по сравнению с другими датчиками.

Преимущества:

1. Не подвержены воздействию в опасных химических средах.
2. В отличие от каталитических датчиков ИК-датчики не подвержены отравлению.
3. Не обнаруживают водород, что исключает перекрестную чувствительность.
4. CO<sub>2</sub> определяется без помех от других газов.
5. Нет снижения точности определения при воздействии высоких концентраций газов или в течение длительного периода времени.

6. Стабильная и длительная эксплуатация требует минимального времени на поверку.

7. Стабильность работы даже после длительного хранения.

8. Низкая стоимость владения по сравнению с каталитическими датчиками.

К недостаткам следует отнести достаточно высокую цену таких датчиков.

Инфракрасные датчики компании SGX находят широкое применение в системах контроля концентрации и содержания различных газов на производстве, в шахтах и тоннелях, бытовых газосигнализаторах. Несмотря на более высокую по сравнению с пеллисторными датчиками стоимость, практика показывает, что вложения в систему безопасности полностью окупаются. ■

### Литература

1. Бекмачев А. Датчики газа e2v. Есть решение для любой задачи // Электроника НТБ. 2012. № 3.
2. [www.sgxsensortech.com](http://www.sgxsensortech.com)
3. [www.ioffeled.com/index.php?id=78&Itemid=113&option=com\\_content&view=article](http://www.ioffeled.com/index.php?id=78&Itemid=113&option=com_content&view=article)
4. Перевод статьи Introduction to Gas Sensing Using Non-Dispersive Infrared (NDIR) // [www.azosensors.com/Article.aspx?ArticleID=544](http://www.azosensors.com/Article.aspx?ArticleID=544)