

## ЭВОЛЮЦИЯ ИНФРАКРАСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОБНАРУЖЕНИЯ ГАЗОВ

Питер Хэрри (Компания Honeywell Analytics) **Honeywell**

Представлена краткая история развития инфракрасной технологии (ИК) обнаружения газов и участие в разработках компании Honeywell Analytics. Сформулированы преимущества и ограничения использования инфракрасных газоанализаторов. Рассмотрены принципы работы инфракрасных газоанализаторов различных конфигураций. Сформулированы современные тенденции развития рынка инфракрасных газоанализаторов.

Ключевые слова: инфракрасная технология обнаружения газов, ИК-излучение, датчики, газоанализатор, сигнализатор загазованности.

С момента своего появления более 50 лет назад инфракрасная технология обнаружения газов прошла множество этапов развития. Основной вехой ее истории было внедрение инфракрасной оптической спектроскопии для обнаружения газов. Газ поглощает ИК-излучение на определенной длине волны, а ИК-технология позволяет идентифицировать этот газ путем измерения поглощения излучения на этой длине волны.

Приборы, основанные на ИК-технологии, можно настроить таким образом, чтобы они опознавали только определенные газы, анализируя участки спектра или длину волны, характерную именно для этих газов. В ИК-технологии используются либо лампы, либо нагретые тела, либо лучи. По мере развития технологии в сторону повышения чувствительности в устройствах стали использоваться преимущественно твердотельные источники излучения. Применение лучей позволяет сузить спектр излучения, используемого для обнаружения газов (так называемая «селективная спектроскопия», FLS), и повысить чувствительность за счет луча с узким частотным диапазоном. Это необходимо для обнаружения определенных газов, в частности, токсичных, таких как сероводород H<sub>2</sub>S, с минимальными перекрестными помехами.

### Краткая история инфракрасной технологии

С тех пор, как в конце 1970-х гг. ИК-технология стала применяться для обнаружения газов, было разработано несколько принципов ее использования. Наибольшее распространение за последние 20 лет получила технология NDIR (поглощение нерассеянного ИК-излучения). Этот принцип может применяться как в точечных, так и в трассовых газоанализаторах. Одним из первых приборов, основанных на этой технологии, на рынке стал газоанализатор 5050, произведенный компанией Sieger (теперь Honeywell Analytics) в 1986 г.

В ИК-датчике этого типа газ закачивается или поступает диффузионным способом внутрь пробоотборной камеры, в которой через него пропускается инфракрасный луч, генерируемый лампой. Затем



Рис. 1. Трассовый инфракрасный газоанализатор Searchline Excel

электрооптическим методом измеряется поглощение на определенной длине волны спектра ИК-излучения и направляется через камеру в направлении детектора. Перед детектором установлен оптический фильтр, отсекающий все излучение, кроме той длины волны, которая поглощается молекулами обнаруживаемого газа, и эта длина волны сравнивается с эталонной длиной волны. Примером точечного инфракрасного газоанализатора является лидер рынка — Searchpoint Optima Plus от компании Honeywell Analytics. Благодаря своей конструкции этот прибор идеально подходит для применения в пробоотборных системах либо с инжекторным способом подачи пробы, либо с насосом. В современной конструкции инфракрасных приборов Honeywell Analytics используются два источника и два детектора, имеющих отдельные фильтры, что полностью компенсирует

дрейф источника и детектора. Не все имеющиеся на рынке точечные ИК-датчики обладают этим свойством. В некоторых из них один или оба элемента могут иметь склонность к дрейфу и, соответственно, датчик может быть предрасположен к ошибкам обнаружения газа и ложным срабатываниям.

Следующей важной вехой была разработка ИК-технологии с открытым оптическим трактом. Этот принцип позволяет обнаруживать газ в динамическом режиме на большом расстоянии, обеспечивая высокую вероятность мгновенного обнаружения утечки газа. В системе этого типа используется такая конфигурация излучателя и приемника, при которой луч ИК-излучения посылается от излучателя к приемнику. Любой газ, пересекающий луч, поглощает некоторое количество излучения на определенной длине волны. Разность интенсивности измеряется и сравнивается с эталонной длиной волны. Фактически компания Sieger Ltd (теперь Honeywell Analytics) в сотрудничестве с крупной нефтедобывающей компанией одна из первых выпустила детекторы горючих газов с открытым оптическим трактом. Производство серийной версии прибора под названием Searchline было начато в 1988 г. Это был первый на рынке газоа-

нализатор с открытым оптическим трактом, сертифицированный для применения в опасных зонах. Благодаря богатому опыту компании в области внедрения оптических технологий и постоянному совершенствованию прибор последнего поколения Searchline Excel (рис. 1) в настоящее время лидирует на рынке газоанализаторов с открытым оптическим трактом.

Еще одна ИК-технология — LIDAR (обнаружение и измерение света) аналогична технологии с открытым оптическим трактом и производит контроль в широком динамическом диапазоне. Эта оптическая технология дистанционного обнаружения измеряет свойства рассеянного излучения не только для установления факта наличия газа, но и для определения местоположения газа в пространстве. Это достигается за счет использования импульсного лазерного излучения (по аналогии с радаром, использующим импульсы радиоволн) и измерения времени задержки между передачей импульса и обнаружением его отраженного сигнала. Прибор, выполненный по технологии LIDAR (известный также, как ALSM), очень дорог и используется, главным образом, в лабораторных условиях и в физике атмосферы.

Являясь наиболее передовым решением, используемым в серийно выпускаемых системах обнаружения газов, ИК-технология в последнее десятилетие развивалась в направлении разработки приборов с применением лазеров, а не ламп. Эти приборы позволяют производить более точный мониторинг с повышенной чувствительностью и эффективностью. Также наблюдается тенденция перехода от использования только точечных детекторов к использованию систем, сочетающих точечные детекторы и детекторы с открытым оптическим трактом. Основной проблемой сегодня является разработка системы обнаружения токсичных газов с открытым оптическим трактом, обладающей чувствительностью, необходимой для обнаружения таких газов, как сероводород H<sub>2</sub>S, с минимальными перекрестными помехами. И эта проблема решается с появлением прибора Searchline Excel.

#### Инфракрасная технология обнаружения газов: в чем ее преимущества?

Популярность ИК-устройств набирает обороты по ряду причин. Других принципов обнаружения газов, которые имели бы такие же преимущества, действительно, не существует. Инфракрасные системы обнаружения газа могут быть как точечными, так и с открытым оптическим трактом (трассовыми), и оба типа систем имеют общие преимущества: высокое быстродействие (как правило, время срабатывания T<sub>90</sub> у трассовых детекторов составляет 1...3 с), не подвержены отравлению (в отличие от термokatалитических датчиков, которые могут быть отравлены, например, кремнийсодержащими соединениями) и работают в инертных атмосферах; отсутствуют фильтры, которые могут засоряться и препятствовать поступлению газа в измерительную камеру. С помо-

щью технологий компании Honeywell Analytics приборы можно оснастить таким образом, чтобы они работали в неблагоприятных погодных условиях, таких как туман, снег, дождь и солнечный свет. Такие системы имеют большой срок эксплуатации и меньше нуждаются в техническом обслуживании, чем остальные. Помимо общих преимуществ, система с открытым оптическим трактом также обеспечивает более высокую вероятность обнаружения газа, так как одновременно контролирует большое пространство (до 200 м). Кроме того, инфракрасные газоанализаторы Honeywell Analytics выполняют самодиагностику, чтобы всегда быть в рабочем состоянии и заблаговременно предупреждать о необходимости технического обслуживания. Поэтому приборы отличаются безотказностью работы и исключают непредвиденные сбои. Еще одно важное преимущество систем с открытым оптическим трактом — это небольшие затраты на монтаж кабеля, так как один комплект из излучателя и приемника может контролировать большое расстояние, для мониторинга которого с тем же уровнем надежности потребовалась бы установка нескольких точечных газоанализаторов.

#### Причины нестабильной работы инфракрасных газоанализаторов

Приборы, не требующие калибровки и не подверженные дрейфу интервала измерений и нулевой точки, представляют наибольший интерес для нефтегазовой и нефтехимической отраслей, так как обеспечивают максимальную эксплуатационную надежность и способствуют сокращению затрат. Длительность бесперебойной работы является главным преимуществом инфракрасных сенсоров по сравнению с каталитическими, которые вследствие снижения чувствительности в процессе работы требуют регулярной калибровки.

Принцип работы инфракрасного газоанализатора основан на физических свойствах молекул вещества, подлежащего обнаружению, что обеспечивает высокую надежность обнаружения углеводородов. Тем не менее, на практике возникают сложности электронного и механического характера, приводящие к дрейфу показаний, снижающему стабильность некоторых инфракрасных газоанализаторов. Эта стабильность достигается благодаря конфигурации самой оптической системы. Дрейф источника света, которым обычно является лампа накаливания, может быть вызван двумя причинами. Во-первых, абсолютная интенсивность света может возрастать, снижаться или даже колебаться. Эти изменения необходимо отличать от изменений сигнала, вызванных поглощением излучения молекулами газа. Во-вторых, спектр излучения источника может со временем меняться. В таких случаях говорят об изменении «цветовой температуры» источника. Изменение цветовой температуры приводит к относительному изменению как интенсивности луча, прошедшего через газ, так и его эталонной интенсивности.

### Конфигурация инфракрасных газоанализаторов

Существует несколько оптических конфигураций, применимых в точечных газоанализаторах и газоанализаторах с открытым оптическим трактом.

#### Один источник, один детектор с узким частотным диапазоном

Детектор принимает и измеряет только интенсивность луча, прошедшего через газ (рис. 2). Если ин-

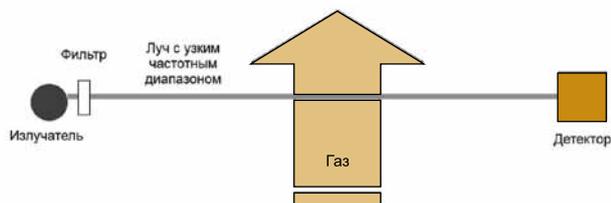


Рис. 2. Один источник, один детектор с узким частотным диапазоном

тенсивность источника излучения со временем изменяется, это может восприниматься как рост или снижение содержания газа в зависимости от направления дрейфа. Изменения чувствительности детектора также могут быть причиной подобных отклонений. Кроме того, в данном случае невозможно различить падение чувствительности и блокировку оптического тракта. Это означает, что грязь или влага, попавшие на оптическую поверхность, могут быть ошибочно приняты за поглощающий излучение газ. Газоанализаторы такого типа можно применять только в тех случаях, когда возможна их ежедневная проверка и калибровка, например, в портативных газоанализаторах BW Technologies.

#### Два детектора с узким частотным диапазоном и одним источником

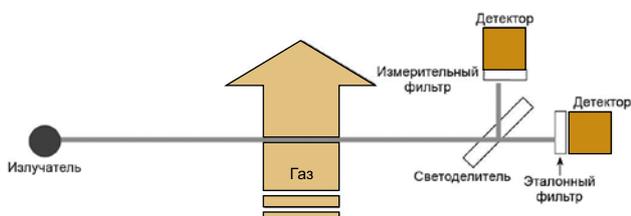


Рис. 3. Два детектора с узким частотным диапазоном и одним источником

Конфигурация (рис. 3) содержит два детектора, измеряющих интенсивность излучения, прошедшего через газ на двух частотах: измерительной и эталонной. В источнике могут происходить изменения цветовой температуры, которые могут быть ошибочно приняты за дрейф нулевой точки или наличие газа. Тем не менее с помощью двух детекторов можно исключить общие изменения интенсивности источника. В системах данного типа существует вероятность получения ложных сигналов в тех случаях, когда дрейф детектора воспринимается как изменение соотношения интенсивностей.

#### Два детектора с узким частотным диапазоном и двумя источниками

Излучение от одного источника проходит к детекторам по измерительному оптическому тракту, а излучение второго источника — по тракту, проходящему внутри прибора (рис. 4). Излучение источников модулируется разными частотами, а сигналы детекторов демодулируются, чтобы таким образом различать источник, сигнал которого измеряется детектором. Системы такого типа позволяют учи-

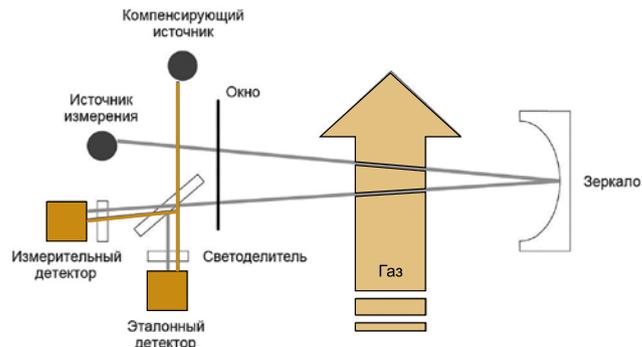


Рис. 4. Два детектора с узким частотным диапазоном и двумя источниками

тывать атмосферные эффекты благодаря сравнению результатов, получаемых с использованием измерительного и внутреннего тракта. Соотношение интенсивностей, полученное для измерительного тракта, сравнивается со значением, полученным с использованием внутреннего тракта. Такое сравнение обеспечивает необходимый контроль постоянства чувствительности детекторов. Предпринимались попытки компенсации нестабильности источников излучения, но только для тех случаев, когда оба источника одинаково изменяют свою интенсивность или цветовую температуру. На практике это редко случается, поэтому такая компенсация дрейфа для источников излучения недостаточна. В детекторы поступает излучение от обоих источников, поэтому компенсация изменений в чувствительности детекторов может быть вполне эффективной.

#### Два детектора и два источника с узким частотным диапазоном

В конфигурации, представленной на рис. 5, лучи обоих источников проходят по измерительному и внутреннему тракту. Луч, прошедший через газ,

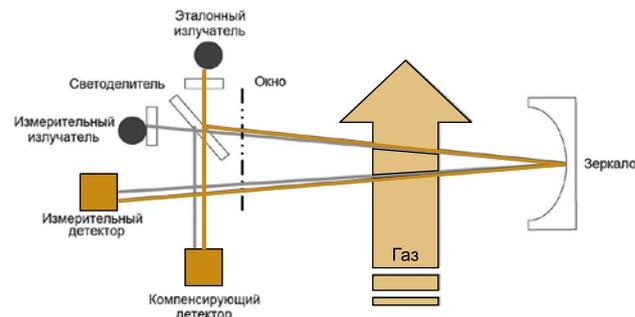


Рис. 5. Два детектора и два источника с узким частотным диапазоном

и луч эталонной интенсивности попадают на оба детектора. Излучение источников модулируется разными частотами, а сигналы детекторов демодулируются, чтобы таким образом различать источник, сигнал которого измеряется детектором. Так как лучи источников характеризуются узким частотным диапазоном, то изменение цветовой температуры любого из них регистрируется как изменение интенсивности излучения. Это изменение наблюдается и в оптическом тракте, проходящем через газ, и во внутреннем оптическом тракте, благодаря чему его можно исключить, сравнивая соотношения интенсивности, полученные для внутреннего тракта (не проходящего через измеряемую газовую среду) и внешнего тракта (проходящего через среду, в которой может присутствовать целевой газ). Подобным образом компенсируется и изменение общей интенсивности источника излучения. Изменения чувствительности детекторов также компенсируются: детектор регистрирует интенсивность обоих лучей, и одинаковое снижение интенсивности обоих лучей (при отсутствии целевого газа) не приведет к изменению соотношения интенсивностей. Эта двойная схема компенсации изменяющихся характеристик источника и детектора обеспечивает эффективную работу газоанализатора в течение всего срока службы.

Сравнение различных конфигураций инфракрасных газоанализаторов подчеркивает тот факт, что приборы могут существенно различаться по стабильности характеристик, сильно влияющей на бесперебойность их работы.

Инфракрасные газоанализаторы Honeywell Analytics обладают высокой стабильностью детекции и защищенностью от помех. Газоанализатор Searchpoint Optima Plus с дополнительным интерфейсом HART® сертифицирован для применения во взрывоопасной среде, обладает высочайшей стабильностью и кратчайшим временем отклика, что обеспечивает максимальную бесперебойность и безопасность работы предприятия. Разработка новейших средств внутренней диагностики и алгоритмов фильтрации ложных срабатываний гарантируют Searchpoint Optima Plus высочайший уровень операционной целостности. Оптический блок с конфигурацией «два источника с узким частотным диапазоном плюс два детектора» обеспечивает долгосрочную компенсацию дрейфа всех своих компонентов.

Инфракрасный газоанализатор с открытым оптическим трактом Searchline Excel обеспечивает максимальную бесперебойную работу даже в самых сложных атмосферных условиях, таких как дождь, туман, снег, брызги морской воды и солнечный свет. Невосприимчивость Searchline Excel к солнечному излучению была достигнута применением ксенонных импульсных ламп, которые дают более мощное ИК-излучение, чем излучение Солнца на используемых длинах волн, и полупроводниковых детекторов с широким динамическим диапазоном. Кроме того, лампа отрегулирована таким образом, чтобы

инфракрасный луч имел свою уникальную длительность и форму импульса. Приемник ИК-излучения производит высокоскоростной анализ сигнала, чтобы подтвердить, что все принятые сигналы обладают заданными характеристиками, и отклонить любые внешние сигналы.

Инфракрасные технологии также применяются в портативных газоанализаторах, например, семейства Impact от Honeywell Analytics. К семейству универсальных портативных газоанализаторов Impact относится модель Impact IR, отличающаяся миниатюрным и компактным ИК-сенсором и низким расходом заряда аккумулятора. Этот прибор обладает превосходными эксплуатационными показателями при мониторинге метана (линейная характеристика) и других углеводородов в таких сферах, которые требуют определения нижнего предела взрывоопасной концентрации (%НКПР) и объемной концентрации (%об.).

#### Тенденции рынка

Если говорить о последнем революционном скачке в области технологий обнаружения газа, а именно, о разработке надежной инфракрасной системы обнаружения токсичных газов в малых концентрациях, можно сказать, что ИК-технологии в этой области стремительно набирают популярность. Исторически рынок детекторов газа всегда консервативно относился к новым технологиям, и только сейчас, спустя 30 лет после разработки концепции инфракрасных датчиков, наблюдается тенденция к применению точечных и трассовых инфракрасных газоанализаторов. На рынке происходит явный сдвиг в сторону инфракрасных приборов и смешанного применения точечных газоанализаторов и газоанализаторов с открытым оптическим трактом. Многие предприятия, использовавшие традиционные термокаталитические датчики, заменяют их на точечные инфракрасные газоанализаторы. В то же время те предприятия, которые традиционно использовали точечные газоанализаторы, сейчас интегрируют в свои системы инфракрасные газоанализаторы с открытым оптическим трактом и используют оба типа газоанализаторов. Для этого существует ряд причин. Во-первых, ИК-датчики обладают рядом несомненных преимуществ. Кроме того, современный рынок диктует необходимость снижения эксплуатационных расходов. Сегодня компании-заказчики анализируют весь срок эксплуатации изделия, принимая во внимание пониженную потребность в техническом обслуживании и возможности самодиагностики, способствующей организации планового технического обслуживания. Другим ключевым фактором роста спроса на эти датчики является доступность приборов в режиме on-line. Например, система с открытым оптическим трактом отслеживает свою работоспособность, и способна видеть газ благодаря постоянному обмену данными между излучателем и приемником. Это особенно важно для соответствия прибора классу безо-

пасности SIL, что требуют большинство заказчиков. Газодобывающая, нефтедобывающая и нефтехимическая промышленности первыми обратились к ИК-приборам, но сегодня появляются широкие перспективы применения этих приборов и в других отраслях, поскольку все больше предприятий склоняется к использованию систем обнаружения газов, основанных на инфракрасной технологии.

В будущем ИК-технология останется на вершине инноваций. Движение в направлении технологии селективной спектроскопии означает, что будущие поколения газоанализаторов будут иметь более высокую

чувствительность и способность обнаруживать более широкий диапазон газов, включая токсичные газы при низких концентрациях.

#### Список литературы

1. Аносов А.А., Ефитов Г.Л., Зусман С.Д. Задачи оптимизации смешения товарных бензинов в реальном времени с использованием поточного анализа качества смеси // Автоматизация в промышленности. 2013. №6.
2. Аносов А.А., Ефитов Г.Л., Зусман С.Д. Опыт использования ИК-спектрометрии для измерения свойств бензинов на НПЗ // Автоматизация в промышленности. №7. 2012.

*Питер Хэрри — менеджер по стратегическому маркетингу стационарных газоанализаторов премиум-класса компании Honeywell Analytics (EMEA).*

*Контактный телефон (495) 960-95-73.*

*Email: ha.ru@honeywell.com*

*http://www.honeywellanalytics.com*

## РАСПРЕДЕЛЕННЫЙ ДАТЧИК ТЕМПЕРАТУРЫ DTSX200 ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА НЕФТИ И ГАЗА

Тору Фукузава (Yokogawa Electric Corporation)

Представлены конструктивные особенности, технические характеристики и функциональные возможности распределенного датчика температуры DTSX200, обеспечивающего эффективную добычу нетрадиционных энергоресурсов путем контроля распределения температуры под землей. Датчик использует технологию оптического измерения, разработанную компанией Yokogawa.

Ключевые слова: технология оптического измерения, добыча нетрадиционных энергоресурсов, распределение температуры под землей, энергоэффективность.

#### Введение

В настоящее время разработка нетрадиционных ресурсов, таких как тяжелая нефть, нефтеносные пески и сланцевый газ, развивается наряду с ростом мирового энергопотребления. Добыча нетрадиционных энергетических ресурсов является трудоемкой [1]. На рис. 1 показан пример, как мазут извлекается из битуминозного песка путем понижения его вязкости паром. Для обеспечения эффективности процесса разработки месторождения необходимо контролировать изменения в распределении температуры под землей.

Для подобных областей применения разработаны оптоволоконные датчики распределенной температуры (DTS), которые могут измерять распределение

температуры вдоль оптоволоконной длиной в несколько километров [2]. При этом необходимо учитывать, что месторождения нефти и газа характеризуются суровыми условиями окружающей среды. Поэтому датчики температуры должны иметь допуск для работ в подобных непростых условиях [3].

Для удовлетворения потребностей заказчиков компания Yokogawa разработала датчик температуры DTSX200, измеряющий распределенные температуры вдоль оптоволоконной, используемого в качестве чувствительного элемента. Например, оптоволоконный кабель длиной 6 км может измерять значения температуры с интервалом в 1 м вдоль кабеля, суммарно обеспечивая 6 тыс. точек измерения.

#### Принцип измерения

В датчике DTSX200 в качестве чувствительного элемента используется оптическое волокно, внутри которого рассеивается падающий свет. На рис. 2 показан спектр рассеянного света в оптоволоконке. В соответствии с механизмом генерации рассеивания рассеянный свет делится на три типа: Рэлеевский рассеянный свет, частота которого равна частоте падающего света, Бриллюэновский рассеянный свет со сдвигом частоты приблизительно  $\pm 10...13$  ГГц и комбинационное рассеяние света (эффект Рамана) со сдвигом частоты приблизительно  $\pm 10...13$  ТГц. Датчик DTSX200 использует температурную зависимость интенсивности комбинационного обрат-

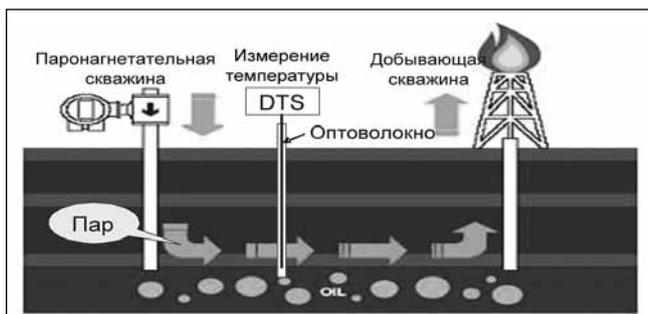


Рис. 1. Пример температурного контроля с помощью волоконно-оптического распределенного датчика температуры