

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАТЧИКОВ NDIR

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НЕДИСПЕРСИОННОГО ПОГЛОЩЕНИЯ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ (NDIR)

В газоанализаторе MultiRAE IR для мониторинга CO₂ используется датчик NDIR (недисперсионное поглощение инфракрасного излучения). Большинство молекул могут поглощать инфракрасное излучение, вследствие чего они сгибаются, растягиваются или скручиваются. Количество поглощенного инфракрасного излучения при этом пропорционально концентрации. Фотонной энергии недостаточно, чтобы вызвать ионизацию, поэтому этот принцип обнаружения значительно отличается от принципа, реализованного в фотоионизационном детекторе (ФИД). Энергия превращается в кинетическую, в результате чего молекулы начинают двигаться быстрее и нагревать газ. Всем известный пример источника инфракрасного излучения — это бытовая лампочка накаливания. Каждая молекула поглощает инфракрасное излучение с определенной длиной волны, присущей определенному типу межмолекулярной связи.

Например, CO₂ интенсивно поглощает излучение с длиной волны 4,26 мкм (2350 см⁻¹, рисунок 1), а связи C-H поглощают излучение в диапазоне 3,3–3,5 мкм (2800–3000 см⁻¹, рисунок 2), в зависимости от структуры остальной части молекулы. У CO₂ уникальная полоса поглощения, поэтому он требует большой избирательности. В то же время у многих соединений похожие связи C-H, и соответствующая способность к поглощению подходит для неизбирательного обнаружения целого ряда углеводородов. При сравнении рисунков 1 и 2 видно, что способность к поглощению у бензина не вызывает интерференцию при измерении CO₂, поскольку бензин не поглощает излучение при длине волны 4,26 мкм (2350 см⁻¹). Согласно закону Ламберта-Бера, способность газа к поглощению прямо пропорциональна его концентрации. Это можно представить в виде уравнения, приведенного ниже.

$$A = \epsilon l c$$

$$I = I_0 10^{-A} = I_0 10^{-\epsilon l c}$$

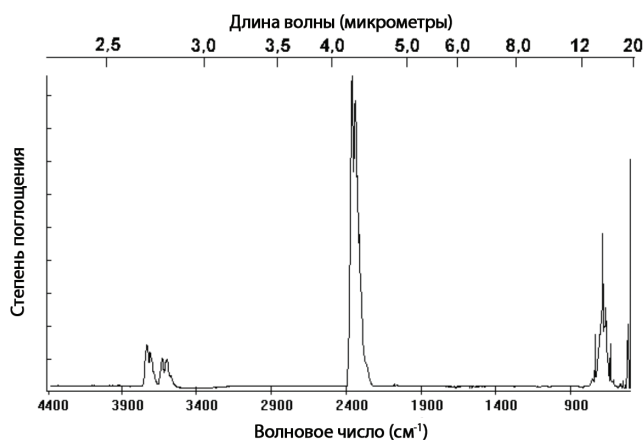


Рисунок 1. Инфракрасный спектр излучения CO₂.

Где I_0 — это начальная интенсивность света, излучаемого лампой (замерена в чистом воздухе), I — это интенсивность света в конечной точке детектора (при наличии испытуемого газа), A — степень поглощения в единицах длины⁻¹, ϵ — молярный коэффициент поглощения в единицах концентрации⁻¹ и длины⁻¹, l — длина пути (глубина полости датчика), а c — это концентрация. Поскольку ϵ являются неизменными значениями, концентрацию можно узнать, измерив интенсивность света до и после подачи образца.

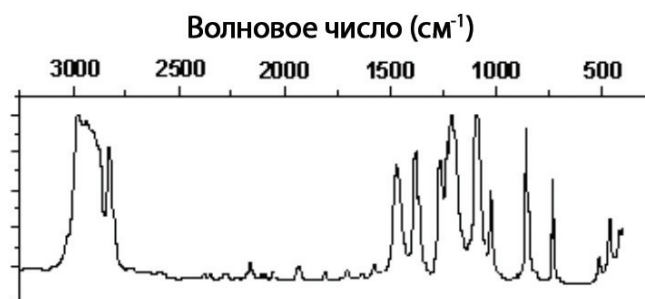


Рисунок 2. Инфракрасный спектр излучения бензина.

УСТРОЙСТВО ДАТЧИКА NDIR

На рисунке 3 представлено упрощенное устройство датчика NDIR (вид сверху). Образец газа расплывается внутри сквозь металлический фрит (пористый фильтр) вверху. Сквозь этот образец пропускается свет, излучаемый лампой накаливания, и поглощается пропорционально количеству CO₂. Из-за отражения от внутренних стенок свет проходит больший путь (l), вследствие чего повышается чувствительность метода. Фильтр напротив детектора пропускает только свет с длиной волны 4,26 мкм, соответствующий газу CO₂.

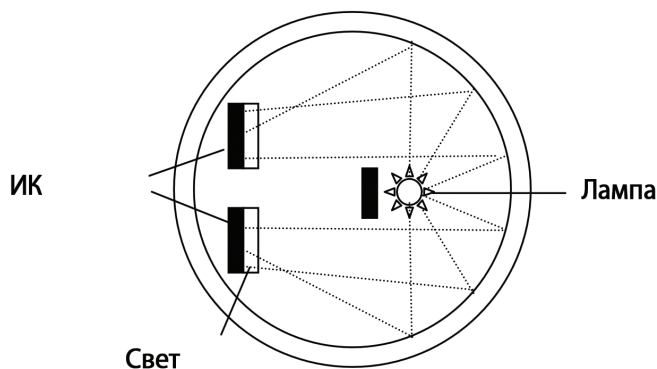


Рисунок 3. Схематическое представление датчика NDIR.

Можно подбирать фильтры света для различных классов соединений. Как правило, для обнаружения углеводородов используют фильтр, пропускающий световые волны длиной 3,4 мкм.

Сравнение недисперсионных ИК-датчиков с дисперсионными

Само понятие «недисперсионный» означает, что свет проходит сквозь образец газа и фильтруется только перед попаданием в детектор. В дисперсионных ИК-детекторах используется решетка или призма, которая заранее отбирает свет с нужной длиной волны, и только этот свет проходит сквозь образец газа на пути в детектор. Как правило, дисперсионные ИК-детекторы используются в настольных устройствах для анализа благодаря способности сканировать широкий диапазон световых волн разной длины. При этом они зачастую имеют довольно крупные габариты и вес, сложно устроены и стоят дорого, поэтому плохо подходят для использования в портативных устройствах.

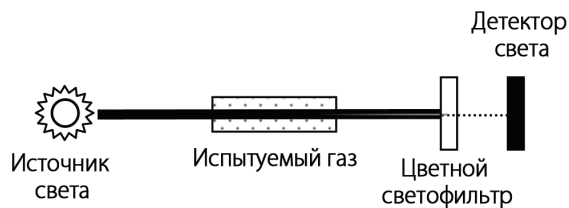


Рисунок 4. Недисперсионное инфракрасное излучение: сквозь образец проходит весь свет.

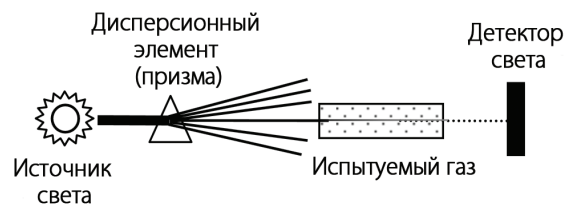


Рисунок 5. Дисперсионное инфракрасное излучение: сквозь образец проходит только свет с определенной длиной волны.