

# Датчики Amphenol Advanced Sensors для контроля качества воздуха в помещениях

Нил РОБЕРТС (Neil ROBERTS)  
Юрий ПОНОМАРЁВ,  
к. т. н.  
ponomarev@ranet.ru

Автоматизированные системы вентиляции, контролирующие уровень углекислого газа (CO<sub>2</sub>), все чаще применяются в жилых и рабочих помещениях для регулирования количества поступающего воздуха и его перераспределения в зависимости от количества людей, находящихся в помещении. Правильно спроектированная и установленная, такая система может снизить избыточный воздухообмен, который имеет место в случае работы системы вентиляции на уровне максимальной производительности при количестве людей в помещении меньше, чем планировалось на этапе проектирования. Это, в свою очередь, позволяет экономить электроэнергию и гарантировать при этом сохранение качества воздуха в соответствии с установленными нормативами.

## Введение

Работоспособность человека и его самочувствие напрямую зависят от качества воздуха в том помещении, где он находится. Правильно организованная вентиляция автоматически приводит к увеличению работоспособности людей и, как следствие, к росту экономической эффективности компании, в которой они работают.

В качестве основного индикатора качества воздуха выступает концентрация в нем CO<sub>2</sub>. Все люди, при одинаковой физической активности, выделяют при выдохе примерно равное количество углекислого газа. Это позволяет использовать уровень концентрации CO<sub>2</sub> для оценки количества человек в помещении.

Углекислый газ является одной из основных составляющих атмосферы Земли. При этом его фоновая концентрация в различных местах

земного шара отличается. Например, наименьший уровень CO<sub>2</sub> наблюдается на Гавайях, на горе Мауна-Лоа — порядка 370 ppm в 2000 г. и чуть более 400 ppm в 2015 г. В городах и на промышленных территориях этот показатель выше: например, в 2000 г. он колебался в пределах от 375 до 450 ppm.

Из-за того что диоксид углерода, как и прочие газы, легко перемешивается с окружающим воздухом, изменение его концентрации в пределах одного города, как правило, не превышает 50 ppm и имеет, к тому же, сезонный характер. Кроме того, поскольку CO<sub>2</sub> является одним из основных продуктов, выделяемых при горении (от 9 до 13% объема), его локальная концентрация может сильно увеличиваться в случае замеров вблизи автомобильных магистралей или дымоходов.

Задача контроля за уровнем CO<sub>2</sub> внутри помещений сводится к измерению разницы между его концентрацией внутри помещения, зависящей от заполненности людьми, и его фоновой концентрацией вне помещения. Полученный показатель позволяет определять и контролировать необходимое количество свежего воздуха, поступающего в помещение, для поддержания уровня CO<sub>2</sub> постоянным, вне зависимости от количества находящихся в нем человек.

На рис. 1 проиллюстрирован процесс накопления CO<sub>2</sub> в помещении офисного типа с небольшим количеством человек. Каждая из кривых на графике показывает характер роста его концентрации со временем при различной величине притока воздуха в расчете на одного человека, обеспечиваемой вентиляционной системой, а также уровни равновесия концентрации CO<sub>2</sub>, в которых количества производимого людьми и удаляемого из помещения углекислого газа равны. Примечательно, что указанные равновесные уровни универсальны и могут быть распространены на любые помещения офисного типа с произвольным количеством взрослых людей и с уровнем активности, соответствующим уровню физической деятельности сотрудника офиса.

Каждой величине притока воздуха на одного человека будет соответствовать свой уровень равновесия концентрации CO<sub>2</sub>, значение которого может служить входной информацией для системы управления вентиляцией. Это, конечно же, не означает, что для начала подачи свежего воздуха система управления «ожидает» момента, пока не установится уровень, соответствующий равновесному. Этот уровень явля-

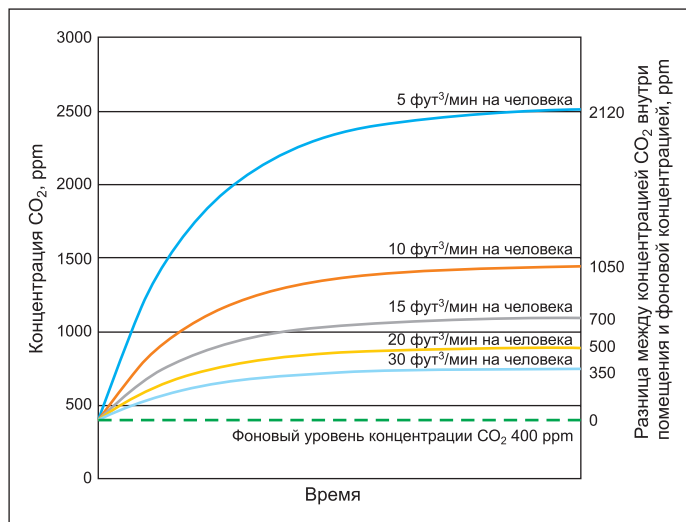


Рис. 1. Равновесные уровни концентрации CO<sub>2</sub> на одного человека при различных величинах притока воздуха (концентрация CO<sub>2</sub> вне помещения составляет 400 ppm)

ется лишь одним из входных параметров для системы управления вентиляцией.

Считается, что увеличение концентрации  $\text{CO}_2$  с 400 ppm до 2000 ppm, которое на сегодня может быть обнаружено в офисных зданиях, не оказывает нежелательных эффектов на здоровье человека (табл. 1), хотя и приводит к снижению работоспособности при превышении уровня в 600 ppm. Одновременно с этим максимально допустимая концентрация  $\text{CO}_2$  для производственных помещений в течение восьмичасового рабочего дня, установленная стандартом Управления по охране труда США (OSHA), составляет 5000 ppm с возможным увеличением концентрации до 30 000 ppm на протяжении не более 15 мин, что гораздо больше, чем в жилых и офисных помещениях. Ощущение людьми плохого качества воздуха, сопряженное с ростом концентрации  $\text{CO}_2$ , как правило, связано с увеличением доли прочих примесей в воздухе, а не с углекислым газом непосредственно. Тем не менее для систем отопления, вентиляции и кондиционирования (ОВК) концентрация  $\text{CO}_2$  является наилучшим индикатором качества воздуха, который можно использовать для управления этими системами.

Другой важной особенностью является взаимосвязь между выделяемым человеком углекислым газом и источаемыми запахами. Известно, что уровень  $\text{CO}_2$  изменяется в зависимости от метаболической активности человека. Поэтому он может служить индикатором количества прочих выделяемых человеком веществ.

Таким образом, уровень концентрации  $\text{CO}_2$  может быть использован и как показатель общего качества воздуха, и для управления системой вентиляции с целью поддержания постоянным необходимого притока свежего воздуха на одного человека в помещении, независимо от количества находящихся в нем человек, уровня их метаболической активности и выделяемых запахов. Для концентрации  $\text{CO}_2$ , равной 1000 ppm, эта величина, в соответствии со стандартами 80-х годов, должна составлять 15 фут<sup>3</sup>/мин на человека, при условии фоновой концентрации вне помещения, равной 300 ppm. К сожалению, из-за постоянного роста фоновой концентрации  $\text{CO}_2$  и его

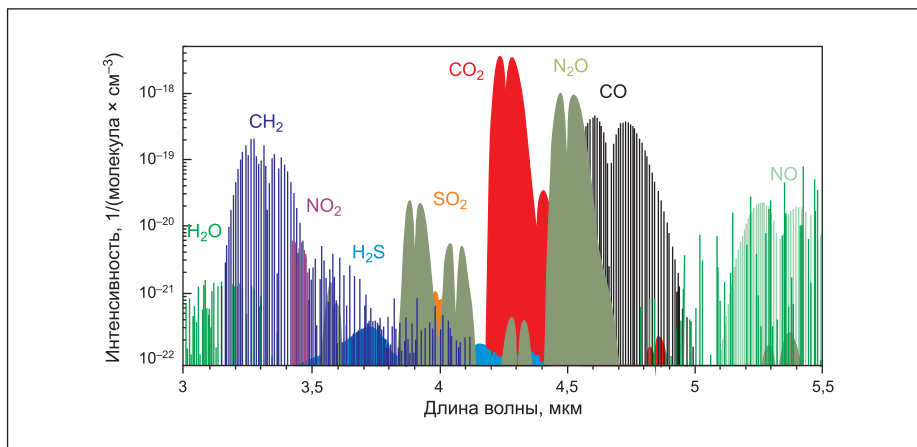


Рис. 2. ИК-спектрограмма паров воды, метана, оксида азота, сероводорода, оксида серы, углекислого газа, оксида углерода [2]

пересечения отметки в 400 ppm указанная производительность 15 фут<sup>3</sup>/мин на человека обеспечит уровень концентрации углекислого газа в 1100 ppm вместо 1000 ppm (максимального в соответствии со стандартами).

### Методы измерения $\text{CO}_2$

Несмотря на то, что принципы, регулирующие взаимосвязь между концентрацией  $\text{CO}_2$  и управлением вентиляцией, хорошо изучены еще с 1916 г., технологии для надежного и недорогого измерения и контроля появились относительно недавно. Первые недорогие датчики  $\text{CO}_2$  были спроектированы специально для систем ОВК и появились на рынке в 1990 г. Их стоимость составляла одну десятую от стоимости контрольно-измерительных приборов того времени, они имели превосходную точность, но долговременный дрейф датчиков требовал ежегодной или более частой калибровки. Если это проблема терпима для научных и специальных задач, то для систем ОВК необходимость периодической калибровки представляет дополнительные финансовые затраты, что и воспрепятствовало их широкому распространению. Большинство технологий измерения концентрации газов предполагают физическое или химическое взаимодей-

ствие самого газа и датчика, что, как правило, приводит к деградации последнего, в связи с чем приходится производить его калибровку или замену. И поскольку диоксид углерода инертен, большинство коммерческих датчиков основано на свойстве различных газов поглощать электромагнитные волны инфракрасного (ИК) диапазона с определенной длиной волны (рис. 2).

В настоящее время для систем ОВК используются два подтипа ИК-датчиков, оба являются недорогими, но имеют различные рабочие характеристики.

Первый подтип базируется на недисперсионном ИК-методе измерения, который заключается в определении оптической плотности газовой среды на характерной для данного газа длине волн ИК-диапазона, которые он поглощает. По измеренной величине можно судить о концентрации газа. На рис. 3 представлен типовой вариант недисперсионного ИК-датчика  $\text{CO}_2$ . Он включает в себя рабочую камеру, которая дает возможность проникновения окружающего воздуха внутрь, источник ИК-излучения на одной стороне камеры и приемник на противоположной. Селективный оптический фильтр, расположенный поверх приемника ИК-излучения, пропускает только характерную для углекислого газа длину волн, им поглощаемых.

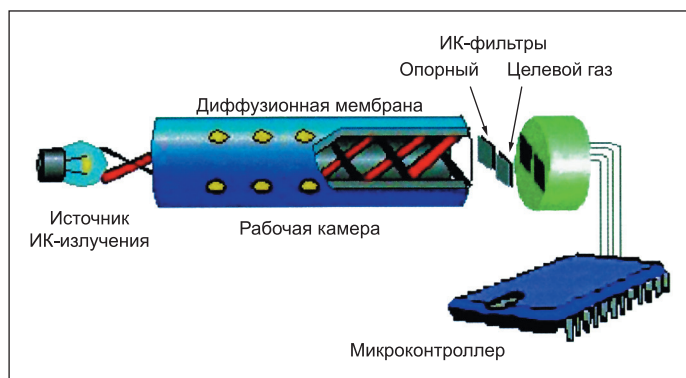


Рис. 3. Недисперсионный инфракрасный датчик  $\text{CO}_2$

Таблица 1. Градация уровней концентрации  $\text{CO}_2$  и их влияние на человека, согласно ASHRAE и OSHA [1]

Симптомы у взрослых здоровых людей	Концентрация углекислого газа, ppm
<b>Приемлемые уровни</b>	
Нормально (соответствует уровню на открытом воздухе)	350–450
Приемлемо	< 600
Жалобы на несвежий воздух	600–1000
Максимальный уровень по стандартам ASHRAE и OSHA	1000
Общая вялость	1000–2500
Возможно нежелательное влияние на здоровье	2500–5000
Максимально допустимая концентрация в течение восьмичасового рабочего дня	5000
<b>Опасные уровни</b>	
Легкое отравление, учащается пульс и частота дыхания, возникают тошнота и рвота	30 000
Добавляется головная боль и легкое нарушение сознания	50 000
Потеря сознания, в дальнейшем летальный исход	100 000

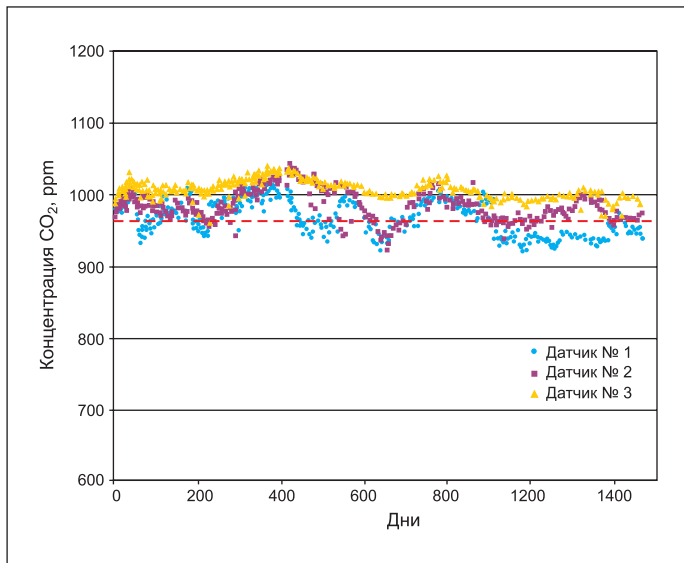


Рис. 4. Графики долговременной стабильности датчиков CO<sub>2</sub> с автоматической калибровкой каждую ночь по фоновому уровню концентрации

Датчик содержит дополнительный ИК-приемник с селективным оптическим фильтром, подобранным таким образом, чтобы он пропускал длину волн, не поглощаемую исследуемыми газами. Такое решение позволяет использовать дополнительный ИК-приемник в качестве опорного для компенсации временных дрейфов, связанных с изменением оптических свойств датчика во времени. В датчиках газа такого типа особое внимание необходимо уделять вопросам снижения дрейфа его параметров, которые могут возникать из-за накопления частиц и из-за эффекта старения источника ИК-излучения. Одним из способов уменьшения накопления частиц является использование специальной проницаемой мембраны, которая способствует диффузии молекул газа и препятствует проникновению более крупных частиц, которые могут влиять на свойства оптической системы. Эффект старения источника излучения оказывает еще большее влияние на дрейф, который может быть снижен путем отбора источников ИК-излучения с более стабильными параметрами и путем алгоритмической компенсации. Представленное на рис. 3 решение с использованием основного и опорного сигналов является одним из методов, позволяющих скомпенсировать изменение оптических свойств, вызванное как накоплением частиц, так и эффектом старения.

Другой метод подразумевает периодическую калибровку датчиков в ночное время, когда в помещениях нет людей и уровень концентрации CO<sub>2</sub> выравнивается с фоновым уровнем. На рис. 4 представлены графики долговременной стабильности трех датчиков CO<sub>2</sub> на протяжении трех лет, с автоматической калибровкой каждую ночь по фоновому уровню концентрации CO<sub>2</sub>. Для построения графиков и определения погрешностей показания датчиков периодиче-

ски проверялись в эталонном газе с известным уровнем концентрации CO<sub>2</sub>, равным 980 ppm. По результатам видно, что погрешности не превышают  $\pm 50$  ppm на протяжении всего трехгодичного периода, что позволяет сделать вывод о хорошей долговременной стабильности датчиков данного типа.

В таблице 2 представлены варианты датчиков CO<sub>2</sub> компании Amphenol Advanced Sensors с электроникой, базирующихся на недисперсионном инфракрасном методе и предназначенных для встраивания в изделия и системы производителей вентиляционного и климатического оборудования.

Второй подтип инфракрасных датчиков, используемых для измерения концентрации CO<sub>2</sub>, базируется на фотоакустическом методе измерения. Конструктивно такой датчик представляет собой рабочую камеру, в которую беспрепятственно может попадать исследуемый воздух. В камере он подвергается пульсирующему ИК-излучению с характерной для CO<sub>2</sub> длиной волн, им поглощаемых. При поглощении ИК-излучения молекулами CO<sub>2</sub> они переходят в возбужденное состояние, что сопровождается звуковым эффектом. Миниатюрный микрофон в рабочей камере детектирует колебания молекул, и по амплитуде определяется концентрация CO<sub>2</sub>. На рис. 5 представлено схематическое изображение фотоакустического датчика. В отличие от предыдущего типа, этот датчик газа не так сильно чувствителен к грязи и пыли, но также страдает от эффекта старения источника ИК-излучения. Кроме того, на его точностные характеристики могут влиять акустические вибрации и изменение давления окружающего воздуха, характерное для систем ОВК. Для снижения остроты указанных проблем в конструкции более высокоточных датчиков зачастую используется дополнительный датчик давления для коррекции выходного сигнала.

Таблица 2. Датчики CO<sub>2</sub> компании Amphenol Advanced Sensors

Модель	T6713	T6613	T6615
Габариты, мм	30×15,6×8,6	57×35×15	57×35×15
Особенности	Миниатюрный		Двухканальный
Метод измерения	Недисперсионный ИК-метод		
Диапазон измерения, ppm	0–5000	400–2000	0–2000 0–5000 0–10 000 0–50 000
Температурный коэффициент изменения нулевого сигнала	5 ppm/°C	0,2%/°C (от полного диапазона)	
Долговременная стабильность, %	<2 от полного диапазона за срок службы (~15 лет)		<5 от полного диапазона за срок службы (~10 лет)
Период выдачи информации, с	5	4	
Время готовности, мин	<2		
Время полного прогрева, мин	10		
Диапазон рабочих температур, °C	-10...+60	0...+50	
Относительная влажность, %	До 95		

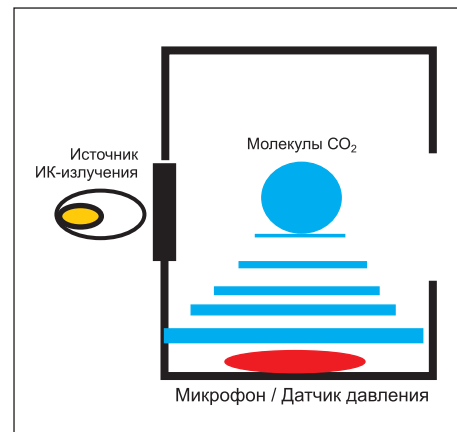


Рис. 5. Фотоакустический датчик газа

## Заключение

Автоматизированные системы вентиляции, работающие по уровню концентрации CO<sub>2</sub>, позволяют в реальном времени контролировать работу вентиляционной системы и регулировать количество поступающего свежего воздуха в помещении в зависимости от их загрузки людьми. Это одновременно позволяет улучшить качество воздуха и уменьшить потребление электроэнергии с вытекающей отсюда экономией финансовых средств. Грамотно спроектированная, такая система вентиляции позволит постоянно поддерживать в помещении или его отдельных зонах заданную величину притока воздуха в расчете на одного человека, даже если количество человек в нем может резко меняться.

## Литература

- <http://tehtab.ru>
- <http://www.ioffeled.com>