

Мониторинг CO₂ и качество воздуха в помещениях

Özgür Küçükhuşeyin, директор по продажам Testo, Управление климатическими продуктами – Testo SE & Co. KGaA, Турция

Ключевые слова: углекислый газ, качество воздуха, концентрация CO₂, синдром больного здания

В журнале «АВОК» неоднократно публиковались статьи, посвященные вопросам взаимосвязи количества углекислого газа и качества воздуха в помещениях¹, а также вопросам нормирования воздухообмена по содержанию CO₂ в наружном и внутреннем воздухе. Отмечалось, что, по мнению многих специалистов, концентрация углекислого газа – ненадежный показатель адекватности вентиляции.

Продолжая данную тему, предлагаем вниманию читателей мнение турецкого специалиста.

Формирование и влияние на здоровье человека

Углекислый газ – бесцветный газ без запаха с концентрацией около 400 ppm (частей на миллион). CO₂ образуется при полном сжигании углеродосодержащих веществ при достаточном поступлении кислорода. В организмах живых существ он образуется как

метаболит клеточного дыхания [1]. При более высоких концентрациях – свыше 1000 ppm – могут возникать значительные негативные последствия (головные боли, усталость, отсутствие концентрации) [2]. Во время этого процесса CO₂ оказывает влияние на бронхи, вызывая увеличение объема «мертвого пространства» (пространства в дыхательной системе, которое не участвует в газообмене) [1].

¹ P. O. Fanger «Качество внутреннего воздуха в XXI веке: влияние на комфорт, производительность и здоровье людей» (№ 4, 2003); P. O. Fanger «Качество внутреннего воздуха в зданиях, построенных в холодном климате, и его влияние на здоровье, обучение и производительность труда людей» (№ 2, 2006); D. Warden «Регулирование расхода приточного воздуха по концентрации CO₂» (№ 2, 2005); E. O. Шилькрот «Сколько воздуха нужно человеку для комфорта?» (№ 4, 2008); И. М. Квашнин, И. И. Гурин «К вопросу о нормировании воздухообмена по содержанию CO₂ в наружном и внутреннем воздухе» (№ 5, 2008); A. K. Klauss, R. H. Tull, L. M. Roots, J. R. Pfafflin «Требования к вентиляции: история и развитие» (№ 3, 2012); A. Л. Наумов, Д. В. Капко «CO₂: Критерий эффективности систем вентиляции» (№ 1, 2015); «Является ли углекислый газ, содержащийся в воздухе жилых и общественных зданий, вредностью?» (№ 4, 2016). – Прим. редакции.

Таблица 1

Влияние различных концентраций CO₂ на человека

Концентрация	Эффект
350–450 ppm	Обычная концентрация в наружном воздухе
600–800 ppm	Хорошее качество воздуха в помещении
1000 ppm	Верхний диапазон хорошего качества воздуха в помещении
5000 ppm	Максимальная концентрация на рабочем месте через 8 ч
6000–30 000 ppm	Критическая концентрация (только для краткосрочного пребывания)
3–8 %	Повышенная частота дыхания, головные боли
10 %	Тошнота, рвота, потеря сознания
>20 %	Быстрая потеря сознания, смерть

CO₂ в воздухе помещений

Концентрация CO₂ рассматривается как основной параметр антропогенного загрязнения воздуха, поскольку ее увеличение в помещении хорошо коррелирует с увеличением интенсивности запахов, возникающих в результате метаболизма человека. Таким образом, содержание CO₂ в воздухе помещения является индикатором интенсивности использования помещения и показателем для оценки работы системы вентиляции [3].

Концентрация CO₂ в помещении зависит главным образом от следующих факторов: количество человек в помещении и объем помещения; активность находящихся в помещении людей (вид деятельности); продолжительность пребывания людей в помещении; наличие процессов горения в помещении; воздухообмен (количество приточного наружного воздуха).

Быстрое увеличение концентрации CO₂ в воздухе помещений является типичным следствием присутствия большого количества людей в относительно небольших помещениях (например, в конференц-залах или школьных классах) с малой величиной воздухообмена. Критические концентрации CO₂ обычно возникают вместе с другими факторами загрязнения воздуха, в частности пахучими веществами из пота или косметики, а также микроорганизмами. В герметичных конструкциях с их очень низкой величиной воздухообмена концентрация CO₂ может увеличиваться даже в присутствии всего нескольких человек (например, в квартирах или офисах). В обоих случаях CO₂ оказывает прямое влияние на то, насколько комфортно люди чувствуют себя в помещении. Европейская программа совместных действий (The

European Collaborative Action, ECA) пришла к следующим уровням неудовлетворенности: начиная с 1000 ppm, около 20 % находящихся в помещении людей могут быть недовольны качеством воздуха, а при концентрации 2000 ppm процент недовольных возрастает примерно до 36 % [4].

В то время как актовые или конференц-залы, как правило, используются лишь изредка и в течение короткого периода времени, классы учебных заведений, из-за регулярного присутствия учеников и преподавателей в течение нескольких часов, должны рассматриваться как особенно важные в отношении концентрации CO₂ в воздухе. Исследования в Германии по загрязнению углекислым газом воздуха в помещениях школьных классов демонстрируют значительный дефицит качества воздуха в помещениях по этому параметру [1].

Стандарт CEN EPB EN16798-1:2019 [5] содержит в информативном приложении В значения воздухообмена. В разделе В3 настоящего приложения представлена основа для критериев качества воздуха в помещениях и норм вентиляции. Значения и классификации, представленные в таблицах В3, не ограничиваются уровнем загрязнения, вызванного людьми, но также и поступлением CO₂ от строительных материалов.

Синдром больного здания

Термин «синдром больного здания» (sick building syndrome, SBS) можно понимать двояко. С одной стороны, это относится к зданиям, которые делают больными находящихся в них людей, а с другой стороны, сами здания описываются как «больные».

Причиной синдрома больного здания обычно является недостаточный воздухообмен. Существует широкий спектр симптомов, включая следующие: раздражение глаз, носа и горла; ощущение, что слизистые оболочки и кожа высыхают; быстрая утомляемость; частые респираторные инфекции и кашель; охриплость, одышка, зуд и неспецифическая гиперчувствительность.

Американское исследование в зданиях с системами кондиционирования и вентиляции смогло статистически продемонстрировать значимые положительные корреляции между жалобами, такими как сухость в горле и раздражение слизистых оболочек, и увеличением концентрации CO₂ даже в диапазоне концентраций ниже 1000 ppm.

Более поздние исследования показали, что затраты на устранение проблем, возникающих из-за неблагоприятного внутреннего микроклимата, часто выше для работодателя, владельца здания и общества, чем затраты на энергию в здании. Было также доказано, что соответствующее качество внутреннего климата может улучшить общую производительность труда на работе и учебе, одновременно снижая уровень невыходов из-за болезни [6].

Качество воздуха в помещениях учебных заведений

В Германии имеется около 34000 школ общего образования и около 10000 профессиональных учебных заведений. Соответственно, мониторинг CO₂ в учебных заведениях имеет особое значение. Средняя концентрация CO₂ в наружном воздухе составляет 400 ppm [7].

В классах содержание CO₂ увеличивается. Данные мониторинга показывают, что за один урок концентрация CO₂ достигает значения 1500 ppm, а по прошествии 90 мин концентрация CO₂ достигает значения 2700 ppm. Это приводит к повышенной усталости и снижению внимания – симптомам, которые значительно снижают эффективность процесса обучения [8].

Исследование, проведенное в США, показало, что концентрация CO₂ в классах оказывает прямое влияние на посещаемость учащихся. Увеличение концентрации CO₂ на 1000 ppm приводит к увеличению пропусков занятий на 10–20%. Согласно другому исследованию, каждое увеличение концентрации CO₂ на 100 ppm снижает ежегодную

посещаемость учеников на 0,2% [9]. Также было установлено, что увеличение воздухообмена может снизить пропуски занятий из-за болезни на 10–17% [8].

Исследования показали, что концентрация CO₂ оказывает влияние на посещаемость в учебных заведениях. Однако степень этого влияния остается неопределенной. Не в последнюю очередь потому, что необходимо учитывать индивидуальные обстоятельства в тех или иных учебных заведениях.

С введением в Германии в 2002 году закона об энергосбережении (пересмотренного в 2007 году) все те, кто занимается реконструкцией зданий учебных заведений, сталкиваются с новыми проблемами. Наружные ограждения зданий, в т.ч. окна, сознательно герметизируются, чтобы выполнить условия по энергосбережению. В случаях недостаточной вентиляции недостатком этого может быть накопление химических и биологических веществ в воздухе помещений [7].

Хотя проблема увеличения концентрации углекислого газа в помещениях с большим количеством людей давно известна, убедительных решений данной проблемы в сфере образования до сих пор не найдено. В то же время нет четко регламентированной ответственности за то, когда и кем должны открываться окна в классах, особенно в холодный период года. В итоге мониторинг часто показывает концентрации CO₂ от высоких до очень высоких (3000 ppm и более). Это также напрямую влияет на риск заражения в учебных заведениях: там, где высокая концентрация CO₂, также можно обнаружить большое количество микробов и вирусов [10].

Текущая ситуация во многих учебных заведениях доказывает, что регулярного и интенсивного проветривания недостаточно для решения проблемы высокой концентрации CO₂. Необходимого воздухообмена и, как следствие, контролируемого уровня концентрации CO₂ можно добиться только при помощи вентиляции [7].

Рекомендации по содержанию CO₂ в воздухе помещений

В Европе и, в частности, в Германии нет всеобъемлющих юридически обязательных правил, регулирующих требования к качеству воздуха в помещениях. Вместо этого существует

несколько оценочных значений, которые называются, например, направляющими значениями, значениями ориентации или целевыми значениями. В Германии значение CO₂ 1500 ppm применяется в качестве гигиенического ориентира в соответствии с DIN1946 Part 2 [1].

Несколько соседних стран опубликовали рекомендации по вентиляции зданий, включая учебные заведения, которые содержат положения об ограничении концентрации CO₂ в воздухе помещений. В Финляндии максимально допустимая концентрация CO₂ в воздухе помещения при обычных погодных условиях и при использовании помещения составляет 1200 ppm. Норвежские и шведские руководящие принципы устанавливают максимальную концентрацию CO₂ в 1000 ppm для жилых комнат, учебных заведений и офисов. В Дании, согласно руководству Управления по охране труда, концентрация углекислого газа в детских садах, учебных заведениях и офисах не должна превышать 1000 ppm. Воздухообмен описывается как недостаточный, когда концентрация CO₂ превышает значение 2000 ppm несколько раз в день в течение короткого времени [11].

На рабочих местах, которые подпадают под действие положений Директивы об опасных веществах (German TRGS 900), применяется предельное значение концентрации CO₂ 5000 ppm.

Технология измерения CO₂

Существует три варианта измерения и контроля содержания CO₂ в помещениях:

- приборы для измерения концентрации CO₂: портативные и пригодные для длительных измерений, они быстро и точно измеряют концентрацию CO₂;
- регистраторы данных (даталоггер): в дополнение к измерению концентрации CO₂ также измеряют температуру и влажность в помещении. Значения измерений передаются по беспроводной сети в «облако», что позволяет получать предупреждающие уведомления о нарушениях предельных значений по электронной почте или SMS. Световой индикатор качества воздуха также гарантирует, что люди немедленно увидят предупреждающий сигнал;
- приборы для измерения величины воздухообмена и IAQ (качества воздуха в помещении): в дополнение к CO₂, они измеряют все другие

параметры внутреннего воздуха, такие как величина воздухообмена, температура, влажность, уровень турбулентности и пр.

Литература

1. Bundesgesundheitsbelehrung, Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz des Umweltbundesamtes. Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft. – Springer Medizin Verlag Ergonomic Institut für Arbeits- und Sozialforschung, 2008.
2. Müller-Limroth, 1977, quoted in: Luftqualität in Innenräumen // Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Schriftenreihe Umwelt. – 1997. – № 287, quoted in: [3].
3. Boos R., Damberger B., et al. Komfortlüftung.at gesund & energieeffizient / Physikalische Faktoren Kohlenstoffdioxid als Lüftungsparameter, Aktualisierte Fassung. – 2011. – August.
4. Guidelines for ventilation requirements in buildings // European Collaborative Action Indoor Air Quality & its Impact on Man. – 1992. – Report № 11. EUR14449, quoted in: [1].
5. EN16798-1:2019 Energy performance of buildings. Ventilation for buildings, Part 1: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics.
6. Cakir A. Über das Sick-Building Syndrome // Zeitschrift für Arbeitswissenschaft. – 1994.
7. Moriske H.-J., Szewzyk R. Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden. – Umweltbundesamt Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes, 2008.
8. Grün G., Urlaub S. Impact of the indoor environment on learning in schools in Europe / Study Report Titel. – Fraunhofer Institut für Bauphysik, IBP. – Stuttgart, 10 Dezember 2015.
9. Shendell D. G., Prill R., et al. Associations between classroom CO₂ concentrations and student attendance in Washington and Idaho // Indoor Air. – 2004. – № 14. – P. 333–341, quoted in: [1].
10. Mensch-Umwelt-Gesundheit, Bericht CO₂. – URL: <http://raumluft.linux47.webhome.at/natuerliche-mechanische-lueftung/co2-als-lueftungsindikator/> – P. 2.
11. Indoor climate and ventilation of buildings. Regulations and Guidelines 2003 / D2 National building code of Finland. – SF-Ministry of the Environment, 2003, zitiert bei: [1].