

Кто ответит за духоту в помещении

И.В.Гурина

Современный человек почти 90% времени находится в помещении. Малышей мамы отправляют в детский сад, где группы часто бывают переполнены, школьники и студенты сидят в классах по 40 человек и больше, а взрослые проводят на рабочих местах гораздо дольше положенных восьми часов в день. Когда вы входите в помещение, где много людей, то практически всегда чувствуете, что там тяжелее дышится, чем снаружи. Хочется сказать «не хватает кислорода». Это неверно. На самом деле кислорода все еще более чем достаточно, но в помещении повысилась концентрация углекислого газа. Что происходит при этом с нашим организмом? Насколько это вредно? Современные исследования доказывают, что повышенное содержание CO_2 во вдыхаемом воздухе отрицательно влияет на кровь, слизистые оболочки, дыхательную и мочевыводящую системы, костную ткань, иммунитет и умственную деятельность человека.

Цифры

Лучше всего дышится на природе. В среднем загородном воздухе 380—400 ppm углекислого газа, то есть 0,038—0,04%. Эти концентрации оптимальны для дыхания человека.

Содержание углекислого газа в атмосферном воздухе за последние 50 лет увеличилось на 20% и постоянно продолжает расти — особенно в крупных городах за счет выхлопов автомобилей и промышленных выбросов. Сегодня уровень CO_2 в воздухе большого города может быть 600 ppm (0,06%) и выше. Не будем подробно обсуждать атмосферу: для нас важно, что при этом происходит в помещениях, где мы проводим почти все время. Закрытые помещения — своего рода ловушки CO_2 . Воздух с уже повышенным или даже нормальным содержанием углекислого газа поступает через окна и вентиляцию, а потом его концентрация

Таблица 1

В зависимости от вида деятельности человека, он выдыхает разное количество углекислого газа

CO_2 л/час	Что делает
18	Сидит
24	Работает в офисе
30	Ходит
36	Выполняет легкую физическую работу
32-43	Выполняет работы по дому
55-75	Делает тяжелую физическую работу
175 и выше	Выполняет спортивные упражнения

начинает быстро расти из-за дыхания людей, которые находятся в здании. Здесь есть отягчающие обстоятельства: принудительной вентиляции может вообще не быть или она работает плохо, а естественная не работает, поскольку пластиковые окна не пропускают воздух и они закрыты, чтобы никто не простудился.

В закрытом помещении уровень углекислого газа повышается гораздо быстрее, чем убывает кислород. Замеры показывают, что, даже когда в школьном классе уровень CO_2 достигает 1000 ppm (0,1%), содержание кислорода практически не меняется (рис. 1).

Конечно, увеличение углекислого газа зависит от количества людей в этом помещении, от их веса и того, что они при этом делают. В тренажерном зале станет душно гораздо быстрее, чем в офисе (табл. 1).

Исследователи знают, что существует связь между концентрацией CO_2 и ощущением духоты. Человек начинает ощущать симптомы «нехватки свежего воздуха» (а на самом деле повышенной концентрации углекислого газа) уже при его уровне 0,08%, то есть 800 ppm. Впрочем, в современных офисах бывает и 2000 ppm CO_2 и выше. Но об этом чуть позже.

Что такое ацидоз и чем он плох

В норме кислотность (pH) крови человека равна примерно 7,4. Наш орга-

Единицы измерения уровня CO_2 — ppm (parts per million). Это миллионная доля, аналогичная по смыслу проценту или промиле. 1000 ppm = 0,1% содержания CO_2 в воздухе.

низм настроен на эту цифру, она необходима для работы всех ферментных и биологических систем организма. Логично предположить, что даже небольшие постоянные изменения кислотности крови могут оказывать очень сильное воздействие на живое существо.

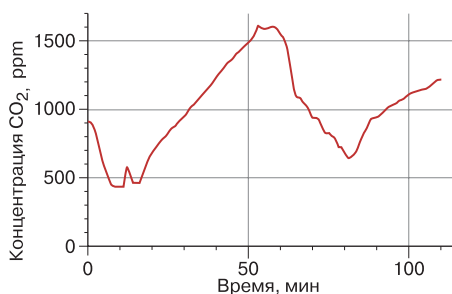
Что происходит при повышении концентрации CO_2 в воздухе, который попадает в организм? Увеличивается парциальное давление CO_2 в наших альвеолах, его растворимость в крови повышается, и образуется слабая угольная кислота ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{CO}_3$), распадающаяся, в свою очередь, на H^+ и HCO_3^- . Кровь закисляется, что по-научному и называется ацидозом. Чем выше концентрация CO_2 в воздухе, которым мы постоянно дышим, тем ниже pH крови и тем более кислую реакцию она имеет (рис. 2).

Минимальные физиологические последствия ацидоза — перевозбуждение, учащенное сердцебиение и умеренное повышение давления. При более сильном ацидозе человек становится вялым, сонливым, ощущает беспокойство. Но все это происходит уже при концентрациях углекислого газа, типичных для современных помещений, где много народа. Впрочем, когда человек надолго выходит на свежий воздух, его состояние постепенно приходит в норму.

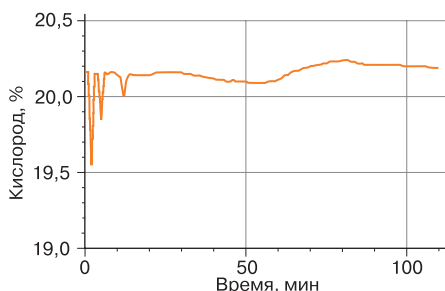
А если всю жизнь дышать воздухом, в котором много углекислого газа, ежедневно, по 20 часов и больше? При ацидозе происходят биохимические изменения в организме, если же он хронический, то, видимо, они в какой-то момент могут стать необратимыми. В какой именно — ученым еще предстоит выяснить.

За постоянство концентрации ионов водорода внутри организма отвечают его буферные системы. В частности, большую роль здесь играют почки, которые выводят избыток ненужных веществ. Кроме того, в организме есть неорганические буферы. Одни из самых важных — это бикарбонат (HCO_3^-) и фосфаты. Есть и другие, органические, например гемоглобин и белки плазмы. Но все же 53% общей буферной емкости крови приходится на систему «бикарбонат — CO_2 » (содержание бикарбоната в плазме — 24 ммоль/л).

Когда начинается ацидоз, то сначала организм защищается, повышая концен-

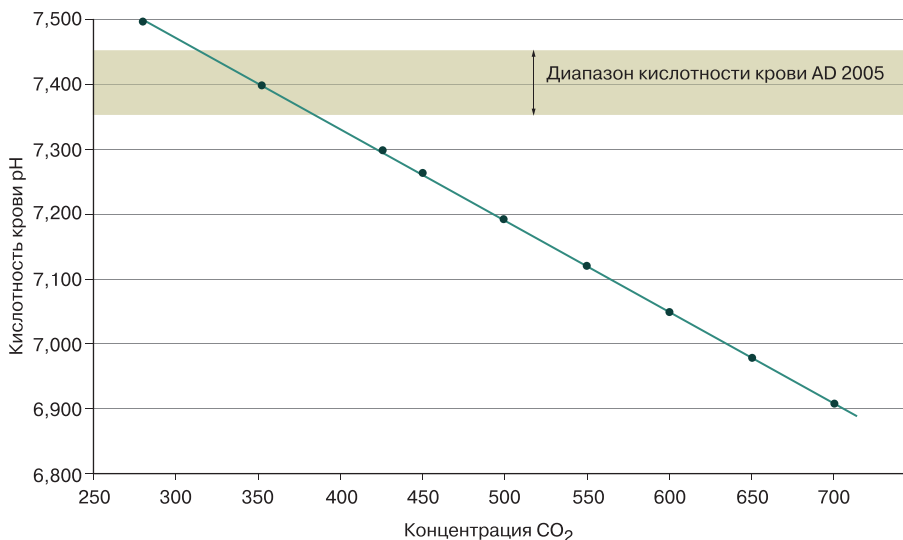


1а
Уровень углекислого газа в классе во время урока. Первые 10 минут - настройка приборов, поэтому скачут показания. Потом в течение 45 мин урока CO₂ постоянно растет, падает за 15 мин перемены с проветриванием и снова растет.



1б
Уровень кислорода в классе во время урока. Первые 10 мин - настройка прибора.

трацию бикарбоната в плазме крови, — об этом свидетельствуют многочисленные биохимические исследования. Чтобы компенсировать ацидоз, почки усиленно выделяют H⁺ и задерживают HCO₃⁻. Собственно говоря, концентрация CO₂, при которой начинается повышение бикарбоната в крови, могла бы стать одной из научно обоснованных норм для допустимого содержания углекислого газа в помещениях. Потом включаются другие буферные системы, и вторичные биохимические реакции организма гораздо сложнее (подробно углубляться в них не будем, механизм довольно сложный). Поскольку сла-



2
Изменения pH крови с увеличением концентрации углекислого газа во вдыхаемом воздухе

бые кислоты, в том числе и угольная (H₂CO₃), могут образовывать с ионами металлов слаборастворимые соединения (CaCO₃), то они откладываются в виде камней, прежде всего в почках. К счастью, человек проводит в душном помещении не все время, поэтому этот процесс носит обратимый характер — через какое-то время после выхода на свежий воздух карбонат кальция должен раствориться.

Сотрудник медицинской научно-исследовательской лаборатории военно-морского подводного флота США Карл Шафер исследовал, как влияют различные концентрации углекислого газа на морских свинок. Грызунов восемь недель содержали при 0,5% CO₂ (кислород был в норме — 21%), после чего у них наблюдалась значительная кальцификация почек. Она отмечалась даже после длительного воздействия на морских свинок меньших концентраций — 0,3% CO₂ (3000 ppm). Но это еще не все. Шафер и его коллеги нашли у свинок через восемь недель воздействия 1%-ного CO₂ деминерализацию костей, а также структурные изменения в легких. Исследователи расценили эти заболевания как адаптацию организма к хроническому воздействию CO₂. Если ученые давали подопытным животным достаточно времени для восстановления (больше месяца), то эти признаки исчезали. Впрочем, исследователи сами говорят о том, что нужны дальнейшие эксперименты, чтобы установить, как повлияют на состояние млекопитающих более низкие концентрации углекислого газа и когда же изменения в их организмах станут необратимыми.

Прочие эффекты и синдром больного здания

Исследования ученых не ограничиваются ацидозом. Например, обследование 344 сотрудников 86 офисов города Тайпей (Тайвань) показало, что уже при уровне CO₂ выше 800 ppm (0,08%) у них отмечал-



ся рост маркеров окислительного стресса, например 8-OHdG (8-гидрокси-2-дезоксигуанозина), определяемого в моче. Содержание маркеров тем выше, чем дольше человек находится в душном помещении. Так же действуют на организм человека летучие органические соединения, причем они и углекислый газ усиливают негативное влияние друг друга.

Ученые ЕЭС проверили, как чувствуют себя школьники в помещении с концентрацией углекислого газа выше 1000 ppm, или 0,1%. (Таких классов на Западе почти две трети, причем во вполне благополучных странах — в Швеции, Норвегии, Дании, Франции.) В медико-биологических тестах оценивали респираторное и аллергическое состояние 547 школьников в возрасте от 9 до 10 лет. Оказалось, что дети, проводящие много времени в помещении с высоким уровнем CO₂, в 3,5 раза чаще имеют сухой кашель и в два раза больше болеют ринитом.

Корейские ученые также исследовали влияние CO₂ на астматиков. Выборка — 181 ребенок моложе 14 лет из 110 домов и квартир Сеула. В помещениях замеряли уровень содержания веществ, которые считаются основными загрязнителями воздуха: CO, NO, аллергены клещей домашней пыли, тараканов, споры грибов плесени и CO₂. Ученые сделали вывод, что только повышенные концентрации CO₂ учащали приступы астмы у детей. Кстати, респираторные инфекции и астма считаются основными заболеваниями школьников.

Если мы вспомним первичные признаки ацидоза, то поймем, почему вялые и сонливые школьники плохо воспринимают новый материал. Проблема повышенного уровня CO₂ характерна и для детских садов, причем особенно для спален. Бедные дети... К счастью, у школьников каждые 45 минут бывает перемена, на время которой их выгоняют из класса, а тихий час с закрытыми окнами — тоже не очень длинный.

Куда же деться взрослым? Во многих учреждениях очень плохо работает принудительная вентиляция — именно здесь причина зашкаливания CO₂. Мы уже говорили, что пластиковые окна хорошо изолируют тепло и звук, однако начисто лишают помещение естественной вентиляции, превращая его в боль-

шой целлофановый пакет. Уровень углекислого газа в таком «пакете» очень быстро нарастает.

Есть здания, которые в специальной литературе называют больными, а люди, работающие там, испытывают синдром больного здания (СБЗ). У синдрома много проявлений: раздражение слизистых оболочек, сухой кашель, головная боль, снижение работоспособности, воспаление глаз, заложенность носа, сложности с концентрацией внимания. Эта проблема знакома жителям ЕЭС, США, Канады и многих других стран. Некоторые исследователи считают, что именно углекислый газ — одна из главных причин развития СБЗ и этот синдром появляется уже при его уровне свыше 800—1000 ppm. Почему решили, что виновник — углекислый газ? Потому, что когда в офисном помещении его концентрация опускалась ниже 800 ppm (0,08%), то и симптомы СБЗ становились слабее. Кроме того, уровень примесей, которые могли бы вызвать подобные симптомы, растет значительно медленнее, чем уровень CO₂, поскольку люди постоянно выдыхают его.

О синдроме больного здания заговорили после того, как появились дома с хорошей теплоизоляцией и наглухо закрытыми окнами, а также с низким уровнем вентиляции из-за экономии электроэнергии. Конечно, причинами СБЗ теоретически могут быть выделения строительных и отделочных материалов, вещества, которые выделяют человеческое тело, споры плесени и т. д. Если вентиляция в помещении работает плохо, то, безусловно, концентрация этих веществ в помещении также будет расти, но медленнее, чем CO₂. Уг-

лекислый газ выступает как тонкий индикатор — он говорит о том, что уровень вентиляции недостаточен, а значит, вырастет концентрация и других загрязняющих веществ.

Английские специалисты Мидлсекского университета (Великобритания), проведя тщательное исследование с участием 300 человек, вынесли вердикт: уровень углекислого газа в офисе не должен превышать 600—800 ppm (0,06—0,08%). Если он выше, то внимание снижается на 30 %. При концентрации CO₂ более 1500 ppm 79% опрошенных испытывали чувство усталости, а более 2000 ppm — две трети испытуемых не могли сосредоточиться. У 97% сотрудников, страдающих мигренью, она появлялась уже при уровне углекислого газа 1000 ppm (0,1%).

Ученый из Великобритании Д.С. Робертсон считает, что люди начинают чувствовать ухудшение качества воздуха уже при концентрации CO₂ 600 ppm, а не при 800, как говорилось в начале статьи. Когда она становится еще выше, у отдельных людей появляется один или несколько классических симптомов отравления углекислотой — проблемы с дыханием, учащенный пульс, головная боль, снижение слуха, потливость, усталость, физиологические расстройства, и все они растут прямо пропорционально уровню CO₂ (табл. 2,3). По другим данным, у 15—33% людей эти симптомы возникают при концентрации 600—800 ppm, у 33—50% при 800—1000 ppm, и 100% будут испытывать их при концентрации 1500 ppm. Расчетная модель говорит, что для того, чтобы поддерживать в помещении CO₂ в пределах 600 ppm, в него дол-

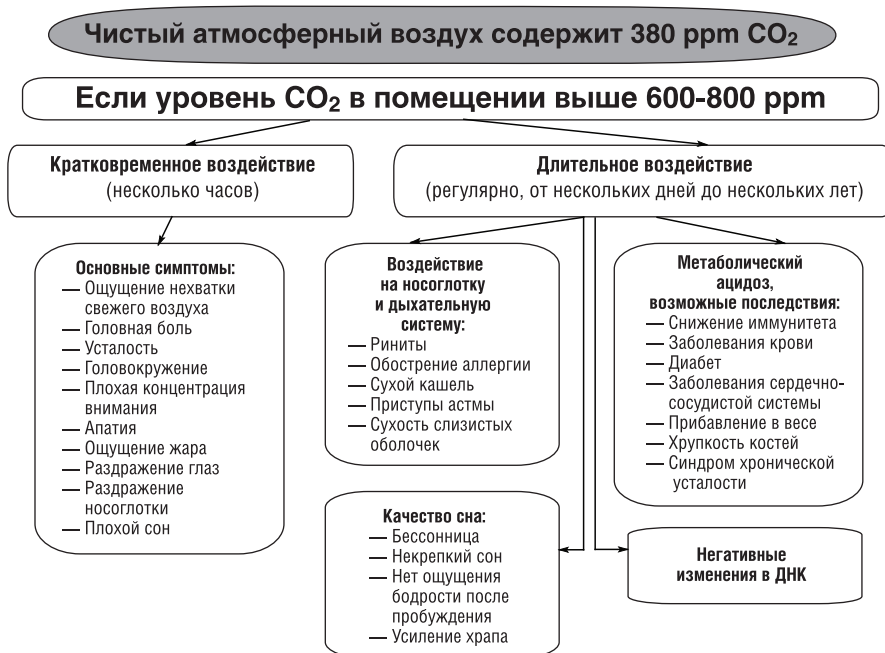
жно подаваться принудительной вентиляцией 68 м³ воздуха в час на одного человека.

Как же понять, что это влияние именно CO₂, а не других ядовитых продуктов, образующихся в процессе жизнедеятельности человека (в их число входят ацетон, аммиак, амины, фенолы...)? В Будапештском университете технологии и экономики разработали специальную методику, позволяющую свести к минимуму уровень загрязнения другими веществами. Подтвердилось, что виноват именно CO₂. В исследовании приняли участие молодые и здоровые люди, средний возраст которых составлял 21 год, и, несмотря на то что эксперименты продолжались не дольше 140—210 минут (концентрации доходили до 3000 ppm), чувствовали они себя откровенно неважно. Что же говорить о сотрудниках, которые находятся в офисах по восемь-девять часов ежедневно многие месяцы и годы.

В начале 2009 года сотрудники Национальной лаборатории Лоренса Беркли (США) пытались понять, как углекислый газ в концентрациях 550, 1000 и 2500 ppm влияет на умственную деятельность и здоровье человека. Методика эксперимента была аналогична той, которую использовали венгерские ученые, однако добровольцы, участвующие в данном эксперименте, находились при заданных уровнях CO₂ ежедневно по восемь часов в течение трех месяцев. Полученные данные пока еще обрабатываются, но оптимизм внушает тот факт, что наконец-то появился четкий стандарт эксперимента.

Вот еще один важный момент: сегодня уровень концентрации CO₂ в помещении служит основным показателем качества воздуха. Он выступает как газ-индикатор, по которому можно судить не только о других загрязнителях, но и о том, насколько хорошо работает вентиляционная система в здании. Исследования в школьном классе показали, что если в воздухе присутствуют, кроме углекислого газа, летучие органические соединения и формальдегиды, то достаточно следить только за CO₂. Если вентиляция справляется с ним, то остальные загрязнители также остаются на низком уровне. Более того, по CO₂ можно судить и о количестве бактерий в воздухе. Чем больше углекислого газа, тем хуже справляется вентиляция и тем больше в воздухе разных бактерий и грибов. Особенно отчетливо это заметно зимой, когда интенсивность вентиляции падает, а количество респираторных инфекций растет.

Таблица 2



Скрытая проблема

Проблема углекислого газа в помещении существует во всех странах, но в

Таблица 3

Уровень CO ₂ (ppm)	Качество воздуха и его влияние на человека
Атмосферный воздух 380- 400	Идеальный для здоровья и хорошего самочувствия человека
400-600	Нормальное качество воздуха Рекомендовано для детских комнат, спален, офисных помещений, школ и детских садов.
600-1000	Появляются жалобы на качество воздуха. У людей страдающих астмой могут учащаться приступы.
Выше 1000	Общий дискомфорт, слабость, головная боль. Концентрация внимания падает на треть. Растет число ошибок в работе. Может привести к негативным изменениям в крови. Может вызывать проблемы с дыхательной и кровеносной системой.
Выше 2000	Количество ошибок в работе сильно возрастает. 70% сотрудников не могут сосредоточиться на работе

России ее вроде как и нет. Строят новые здания, часто с применением современных «зеленых» технологий, старые здания модернизируют, ставят новые окна. А людям некомфортно, и население больших городов в целом более слабое и больше болеет. Врачи лечат последствия, грешат на общее загрязнение атмосферы, а жесткие нормы на содержание в помещениях углекислого газа в России отсутствуют.

За последние несколько десятилетий практически не появлялись и российские исследования на эту тему. Между тем отдельные замеры в офисах Москвы показали, что в некоторых из них уровень CO₂ — 2000 ppm и выше. В 60-х годах прошлого столетия О.В.Елисеева в своей диссертации провела детальные исследования по обоснованию ПДК CO₂ в воздухе жилых и общественных зданий. Она проверила, как влияет углекислый газ в концентрациях 0,1% (1000ppm) и 0,5% (5000ppm) на организм человека, и пришла к выводу, что кратковременное вдыхание здоровыми людьми двуокиси углерода в этих концентрациях вызывает отчетливые сдвиги в функции внешнего дыхания, кровообращения и электрической активности головного мозга. Согласно ее рекомендациям, содержание CO₂ в воздухе жилых и общественных зданий не должно превышать 0,1% (1000ppm), а среднее содержание CO₂ должно быть около 0,05% (500 ppm). Несмотря на то, что даже кратковременное воздействие вызывало нежелательный эффект, ни ПДК, ни какие-либо другие нормативы по углекислому газу в то время в СССР не были приняты. Нет подобных норм для учебных, офисных и жилых помещений в СНиПах (строительных нормах) и СанПиНах (санитарные правила и нормы).

В странах Европы, США и Канаде, как правило, нормой считается 1000 ppm (0,1%). Именно в соответствии с этими цифрами рассчитывается вентиляция зданий. Во многих школах проводится мониторинг качества воздуха по уровню углекислого газа. Конечно, не всегда и не везде этот уровень соответствует норме. Но в этом случае администрация школ обязана принять меры, чтобы

улучшить положение. В Финляндии, например, школу, в классах которой обнаружен повышенный уровень углекислого газа, могут даже закрыть до тех пор, пока не будет налажена вентиляция.

Вообще, на Западе тема качества воздуха в помещении довольно популярна. Ежегодно проводятся конференции по теме «Здоровое здание» и тема вентиляции там поднимается постоянно. Кстати, о вентиляционных системах. С одной стороны, в современном мире все стараются экономить электроэнергию, с другой — нужно поддерживать хороший воздухообмен, а для этого требуется большое количество электрической энергии. В Финляндии ученые предложили удалять углекислый газ с помощью абсорберов, встроенных в вентиляционные системы. Таким образом, возможно, удастся добиться разумного баланса между экономией электроэнергии и безопасным уровнем углекислого газа в помещениях. Такие бытовые абсорберы углекислого газа для помещений уже существуют, было бы желание их применить.

В последние годы в США и в Европе появляются проекты так называемых зеленых зданий. Они построены из экологически чистых материалов и должны потреблять как можно меньше электроэнергии или обеспечивать ее себя сами. Все бы хорошо, но это неизбежно приводит к экономии именно на вентиляции. В декабре 2008 года английская газета «Дейли мейл» рассказала о том, как профессор Дерек Клементс-Крум исследовал несколько школ, пытавшихся воплотить в жизнь идею экологичного здания с минимальным потреблением энергии. В этих школах профессор зафиксировал очень высокий уровень CO₂ в классах. В результате у детей был заторможен мыслительный процесс, они были вялыми и не могли нормально учиться.

Появилась информация о том, что на северо-востоке Москвы также будет построен первый «зеленый» высотный административно-жилой комплекс «Кристалл» (187 000 кв²). Если учесть, что с проблемой углекислого газа в помещении в России мало кто знаком, то

здоровье людей, которые будут находиться в этом здании, заранее внушает опасения.

В наших школьных классах принудительная вентиляция практически отсутствует. Учителя должны делать «сквозное проветривание» класса во время перемены. Правда, зимой холодно, и это невозможно. Да и после проветривания уровень углекислого газа быстро вырастает в несколько раз, поэтому уже к середине урока дети не могут сосредоточиться. В современных офисных зданиях вентиляция есть, но зачастую при постройке здания рассчитывают на одно количество работников, а потом их оказывается гораздо больше. Кстати, если на улице CO₂ станет в какой-то момент очень много, то мы не сможем обойтись еще и без абсорберов углекислого газа.

В последние годы появились точные инфракрасные сенсоры для замера уровня углекислого газа в помещениях. Они входят в состав газоанализаторов и показывают концентрацию углекислого газа в режиме реального времени, поэтому их удобно ставить в жилых и общественных помещениях, школах и детских садах. Однако для того, чтобы от этих измерений была польза, нужны четкие нормы по уровню углекислого газа в помещениях. А их у нас пока нет.

Что еще почитать о влиянии углекислого газа на здоровье.

1. D. S. Robertson Health effects of increase in concentration of carbon dioxide in the atmosphere. Current science, vol. 90, no. 12, 25 June, 2006.
2. K. E. Schaefer, Effect of increased ambient CO₂ levels on human and animals, Experientia 38, 1982.
3. Л.А.Тиунов, В.В.Кустов. Токсикология окиси углерода М.: Медицина, 1980.
4. Ю.Д. Губернский, Е.О.Шилькрот. «Сколько воздуха нужно человеку для комфорта?». Журнал АВОК, 2008, № 4.
5. Л.Л.Гошка. Инженерно-строительный журнал, 2009, № 2.



ЗДОРОВЬЕ