

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА**ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА****Мансуров Рустам Шамильевич**

канд. техн. наук, доцент Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин),
630008, РФ, Новосибирск, улица Ленинградская, 113
E-mail: rmansurov@iubox.ru

Гурин Максим Александрович

студент Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин),
630008, РФ, Новосибирск, улица Ленинградская, 113
E-mail: pro-100_9@mail.ru

Рубель Екатерина Вячеславовна

студент Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин)
630008, РФ, Новосибирск, улица Ленинградская, 113
E-mail: katy.rubel@mail.ru

THE EFFECT OF CARBON DIOXIDE CONCENTRATION ON THE HUMAN BODY**Rustam Mansurov**

candidate of technical sciences, associate professor of Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin),
630008, Russia, Novosibirsk, Leningradskaya str., 113

Maxim Gurin

student of Novosibirsk State Architectural and Construction University,
630008, Russia, Novosibirsk, Leningradskaya str., 113

Ekaterina Rubel

student of Novosibirsk State Architectural and Construction University,
630008, Russia, Novosibirsk, Leningradskaya str., 113

АННОТАЦИЯ

В данной работе рассмотрено влияние концентрации углекислого газа на организм человека. Данная тема актуальна в связи с частым нарушением уровня комфортной концентрации CO₂ в закрытых помещениях, а также в связи с отсутствием в России нормативов на содержание углекислоты.

ABSTRACT

In this paper, the effect of the concentration of carbon dioxide on the human body is considered. The actual topic is topical in connection with the frequent violation of the level of comfort of CO₂ concentration in enclosed premises, as well as in concentration with the absence in Russia of standards for the content of carbon dioxide.

Ключевые слова: углекислый газ, углекислота, CO₂, концентрация углекислого газа.

Keywords: carbon dioxide, CO₂, concentration of carbon dioxide.

Дыхание — физиологический процесс, гарантирующий течение метаболизма. Для комфортного существования человек должен дышать воздухом, состоящим из 21,5% кислорода и 0,03 – 0,04% углекислого газа. Остальное заполняет двухатомный газ без цвета, вкуса и запаха, один из самых распространённых элементов на Земле – азот.

Таблица 1.

Параметры содержания кислорода и углекислого газа в различных средах [2].

Среда	O ₂	CO ₂
Атмосферный воздух, %	20,9	0,03
Выдыхаемый воздух, %	16,4	4
Альвеолярный воздух, мм рт. ст. (парциальное давление)	105-110	40
Артериальная кровь, мм рт. ст.	100	40
Венозная кровь, мм рт. ст.	40	46
Ткани:		
межтканевая жидкость, мм рт. ст.	20-40	46-60
клетки, мм рт. ст.	0,1-10,0	60-70

При концентрации углекислого газа выше 0,1% (1000 ppm [parts per million]) возникает ощущение духоты: общий дискомфорт, слабость, головная боль, снижение концентрации внимания. Также увеличивается частота и глубина дыхания, происходит сужение бронхов, а при концентрации выше 15% - спазм голосовой щели. При длительном нахождении в помещениях с избыточным количеством углекислого газа происходят изменения в кровеносной, центральной нервной, дыхательной системах, при умственной деятельности нарушается, восприятие, оперативная память, распределение внимания.

Существует ошибочное мнение, что это проявления нехватки кислорода. На самом деле, это признаки повышенного уровня углекислого газа в окружающем пространстве.

В то же время углекислый газ, необходим организму. Парциальное давление углекислого газа влияет на кору головного мозга, дыхательный и сосудодвигательный центры, углекислый газ также отвечает за тонус сосудов, бронхов, обмен веществ, секрецию гормонов, электролитный состав крови и тканей. А значит, опосредованно влияет на активность ферментов и скорость почти всех биохимических реакций организма.

Уменьшение содержания кислорода до 15% или увеличение до 80% не существенно влияет на организм. В то время как на изменение концентрации углекислого газа на 0,1% оказывает существенное негативное воздействие. Отсюда можно сделать вывод о том, что углекислый примерно в 60-80 раз важнее кислорода.

Таблица 2.

В зависимость количества выделяемого углекислого газа от вида деятельности человека [1]

CO ₂ л/час	Деятельность
18	Состояние спокойного бодрствования
24	Работа за компьютером
30	Ходьба
36	Легкая физическая нагрузка
32-43	Работа по дому

Современный человек очень много времени проводит в помещении. В условиях сурового климата люди пребывают на улице всего 10 % своего времени.

В помещении концентрация углекислоты растет быстрее, чем понижается концентрация кислорода. Данную закономерность можно проследить по графикам, полученным опытным путем в одном из школьных классов.

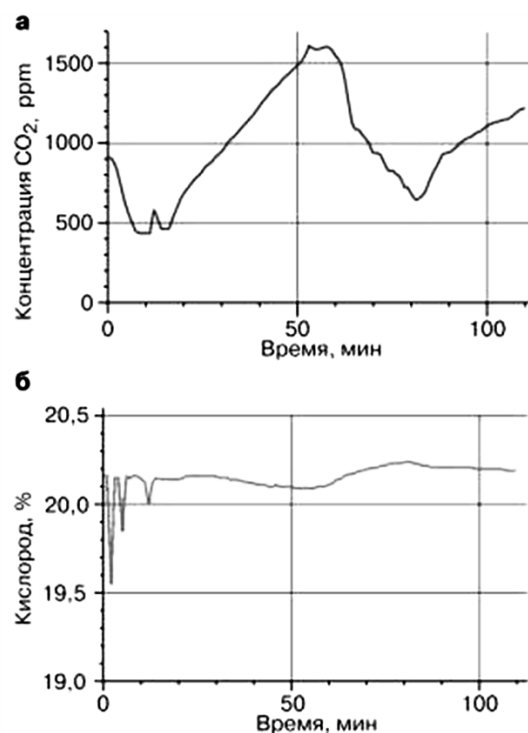


Рисунок 1. Зависимость уровня углекислого газа и кислорода от времени [1]

Уровень углекислого газа в классе во время урока (а) постоянно растет. (Первые 10 минут - настройка приборов, поэтому показания скачут.) За 15 минут перемены при открытом окне концентрация CO₂ падает и затем снова растет. Уровень кислорода (б) практически не меняется.

При концентрации углекислого газа внутри помещения выше 800 — 1000 ppm, люди, работающие там, испытывают синдром больного здания (СБЗ), а здания носят наименование «больные». Уровень примесей, которые могли бы вызвать раздражение слизистых оболочек, сухой кашель и головную боль растет значительно медленнее, чем уровень углекислого газа. А когда в офисном помещении его концентрация опускалась ниже 800 ppm (0,08%), то и симптомы

СБЗ становились слабее. Проблема СБЗ стала актуальна после появления герметичных стеклопакетов и низкой эффективности принудительной вентиляции из-за экономии электроэнергии. Бесспорно, причинами СБЗ могут выступать выделения строительных

и отделочных материалов, споры плесени и т.д. при ненадлежащей вентиляции концентрация этих веществ будет расти, но не так быстро, как концентрация углекислоты.

Таблица 3.

Как разные количества углекислого газа в воздухе влияют на человека [1]

Уровень CO ₂ , ppm	Физиологические проявления
380-400	Идеальный для здоровья и хорошего самочувствия человека.
400-600	Нормальное качество воздуха. Рекомендовано для детских комнат, спален, 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 системами.
Выше 2000	Количество ошибок в работе сильно возрастает. 70 % сотрудников не могут сосредоточиться на работе.

Проблема повышенного уровня углекислого газа в помещении существует во всех странах. Ей активно занимаются в Европе США и Канаде. В России нет жестких норм на содержание в помещениях углекислого газа. Обратимся к нормативной литературе. В России норма воздухообмена не менее 30 м³/ч [3]. В Европе – 72 м³/ч [5].

Рассмотрим, как были получены данные цифры:

Главный критерий – это объем углекислого газа, выделяемый человеком. Он, как было рассмотрено ранее, зависит от вида деятельности человека, а также от возраста, пола и т.д. Большинство источников рассматривают 1000 ppm как предельно-допустимую концентрацию углекислоты в помещении для длительного пребывания.

Для расчетов будем использовать обозначения:

- V - объем (воздуха, углекислого газа, и т.д.), м³;
- V_к - объем комнаты, м³;
- V_{CO₂} - объем CO₂ в помещении, м³;
- v - скорость газообмена, м³/ч;
- v_в - "скорость вентиляции", объем воздуха, подаваемого в помещение (и удаляемого из него) за единицу времени, м³/ч;

- v_д - "скорость дыхания", объем кислорода, замещаемого углекислым газом в единицу времени. Коэффициент дыхания (неравность объема потребляемого кислорода и выдыхаемого углекислого газа) не учитываем, м³/ч;

- v_{CO₂} - скорость изменения объема CO₂, м³/ч;
- k – концентрация, ppm;
- k(t) - концентрация CO₂ от времени, ppm;
- k_в - концентрация CO₂ в подаваемом воздухе, ppm;

- k_{max} - максимально допустимая концентрация CO₂ в помещении, ppm;

- t – время, ч.

Найдем изменение объема CO₂ в помещении. Оно зависит от поступления CO₂ с приточным воздухом из системы вентиляции, поступления CO₂ от дыхания и удаления загрязненного воздуха из помещения. Будем

считать, что CO₂ равномерно распределяется по помещению. Это значительное упрощение модели, но дает возможность быстро оценить порядок величин.

$$dV_{CO_2}(t) = dV_v * k_v + v_d * dt - dV_v * k(t)$$

Отсюда скорость изменения объема CO₂:

$$v_{CO_2}(t) = v_v * k_v + v_d - v_v * k(t)$$

Если человек вошел в помещение, то концентрация CO₂ будет расти до тех пор, пока не придет к равновесному состоянию, т.е. удаляться из комнаты будет ровно столько, сколько поступила с дыханием. То есть скорость изменения концентрации будет равна нулю:

$$v_v * k_v + v_d - v_v * k = 0$$

Установившаяся концентрация будет равна:

$$k = k_v + v_d / v_v$$

Отсюда легко выяснить необходимую скорость вентиляции при допустимой концентрации:

$$v_v = v_d / (k_{max} - k_v)$$

Для одного человека с v_д = 20л/час (=0.02 м³/ч), k_{max} = 1000ppm (=0.001) и чистым воздухом за окном с v_в = 400ppm (=0.0004) получим:

$$v_v = 0.02 / (0.001 - 0.0004) = 33 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Мы получили цифру, данную в СП. Это минимальный объем вентиляции на человека. Она не зависит от площади и объема комнаты, только от "скорости дыхания" и объема вентиляции. Таким образом, в состоянии спокойного бодрствования концентрация CO₂ вырастет до 1000 ppm, а при физической активности будет превышение норм.

Для других значений k_{\max} объем вентиляции должен быть:

Таблица 4.

Требуемый воздухообмен для поддержания заданной концентрации CO₂

Концентрация CO ₂ , ppm	Требуемый воздухообмен, м ³ /ч
1000	33
900	40
800	50
700	67
600	100
500	200

Из этой таблицы можно найти требуемый объем вентиляции при заданном качестве воздуха.

Таким образом, воздухообмен 30 м³/ч, принятый нормативным в России не позволяет чувствовать себя комфортно в помещении. Европейский стандарт воздухообмена 72 м³/ч позволяет одерживать концентрацию углекислого газа, не влияющую на самочувствие человека.

Список литературы:

1. И. В. Гурина. «Кто ответит за духоту в помещении» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://swegon.by/publications/0000396/> (Дата обращения: 25.06.2017)
2. Кислород и углекислый газ в крови человека. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.grandars.ru/college/medicina/kislorod-v-krovi.html> (Дата обращения: 23.06.2017)
3. СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» стр. 60 (приложение К).
4. Что такое углекислый газ? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://zenslim.ru/content/%D0%A3%D0%B3%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D0%B8%D1%81%D0%BB%D1%8B%D0%B9-%D0%B3%D0%B0%D0%B7-%D0%B2%D0%B0%D0%B6%D0%BD%D0%B5%D0%B5-%D0%BA%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B0-%D0%B4%D0%BB%D1%8F-%D0%B6%D0%B8%D0%B7%D0%BD%D0%B8> (Дата обращения: 13.06.2017)
5. EN 13779 Ventilation for non-residential buildings – p.57 (Table A/11)