

Климатические системы: переход от санитарно-гигиенических к физиологическим нормам

Коммерческий директор Л.Л. Гошка*,
ООО «Кола»

В предыдущей статье [1] мы рассмотрели, как решение фундаментальной части задачи влияет на решение прикладной (коммерческой) части этой же задачи. В данной статье мы продолжим рассматривать связь между фундаментальной и прикладной частями задачи обеспечения качества воздуха в помещении.

Базой для стандартов и предписаний по системам вентиляции (CEN, 1998; ASHRAE, 2004) является метод, в основу которого положена реакция органов чувств человека на воздух различного качества (сенсорная реакция). П. Оле Фангер отмечает [2], что часто встречаются высказывания о том, что сенсорные измерения более предпочтительны, чем химические измерения. На практике эта «философия» стандартов определяет невысокое качество воздуха, которым недоволено большее количество людей, чем ожидалось, что документально зафиксировано в результатах многих исследований в реальных условиях, в зданиях по всему миру, построенных согласно требованиям этих стандартов.

Таким образом, в стандартах и предписаниях по системам вентиляции физиология человека подменяется его ощущениями, а научный подход к решению проблемы обеспечения качества воздуха в помещении – решением задачи по предмету.

Например, на практике это может сводиться к следующему решению: если одной из задач государственной политики является энергосбережение, тогда для того, чтобы как можно быстрее отчитаться за проделанную работу, самым эффективным способом является отказ от вентиляции как самой энергопотребляющей системы в здании. Но так как это сделать невозможно, можно идти по простому пути снижения воздухообмена в помещении. Тем самым существенная экономия на капитальных и эксплуатационных затратах климатических систем может приводить к увеличению количества недожитых лет конечного пользователя климатических систем. При этом поставленная цель по снижению энергозатрат в здании будет достигнута, а проблема синдрома больного здания как была, так и останется самой актуальной проблемой.

Например, в журнале АВОК [3] В.И. Ливчак предлагает: «Жители, предпочитающие более высокую температуру воздуха, могут пойти на некоторое снижение воздухообмена – чтобы повысить температуру воздуха на 2°C , надо снизить теплопотери, как будет показано далее, на 4,5%. Учитывая, что расход тепла на нагрев инфильтрующегося воздуха составляет примерно половину от расчетных теплопотерь, надо сокращать воздухообмен на $4,5 \cdot 2 = 9\%$ или менее чем на $3 \text{ м}^3/\text{ч}$ из расчетных $30 \text{ м}^3/\text{ч}$ на жителя. Это будет совсем незаметно для человека, тем более что, например, в Германии, далеко не бедной стране, расчетный воздухообмен в квартирах при расчете нагрузки системы отопления в капитально ремонтируемых домах рекомендуется принимать исходя из $20 \text{ м}^3/\text{ч}$ на жителя».

Человек, конечно, не заметит, а вот как может отреагировать на это его организм, рассмотрим далее.

Следует особо подчеркнуть, что мы попытаемся рассмотреть проблему обеспечения качества воздуха в помещении, а не решить задачу по предмету. Так как на сегодняшний день из существующего большого количества решений задач по предмету ни одно не обеспечивает качества воздуха в помещении. И дело не столько в недостатке теоретических изысканий и экспериментальных данных, сколько в методологии постановки и решения фундаментальной части задачи.

Пусть под оптимальной физиологической нормой по CO_2 будем понимать такую концентрацию углекислого газа в воздухе под воздействием, которой кислотность крови может изменяться в интервале $7,35 \leq \text{pH} \leq 7,45$. Обозначим данное состояние организма как состояние «А». При $\text{pH}=7,35$ и постоянном (круглосуточном и круглогодичном) воздействии углекислого газа концентрация CO_2 в воздухе должна не превышать $C_A=380 \text{ ppm}$ (рис. 1). Данный интервал кислотности соответствует зоне оптимума. Под допустимой (предельной) физиологической нормой будем понимать такую концентрацию углекислого газа в воздухе под воздействием, которой кислотность крови может изменяться в интервале $7,3 \leq \text{pH} \leq 7,5$. Пусть данное состояние организма соответствует состоянию «С». Данный интервал кислотности включает в себя как зону оптимума, так и нижнюю с верхней зоны регуляции. При $\text{pH}=7,3$ и постоянном воздействии углекислого газа концентрация CO_2 в воздухе не должна превышать $C_C=426 \text{ ppm}$. Пусть данное состояние организма соответствует состоянию «С». Данный интервал кислотности включает в себя как зону оптимума, так и нижнюю с верхней зоны регуляции. При $\text{pH}=7,3$ и постоянном воздействии углекислого газа концентрация CO_2 в воздухе не должна превышать $C_C=426 \text{ ppm}$.

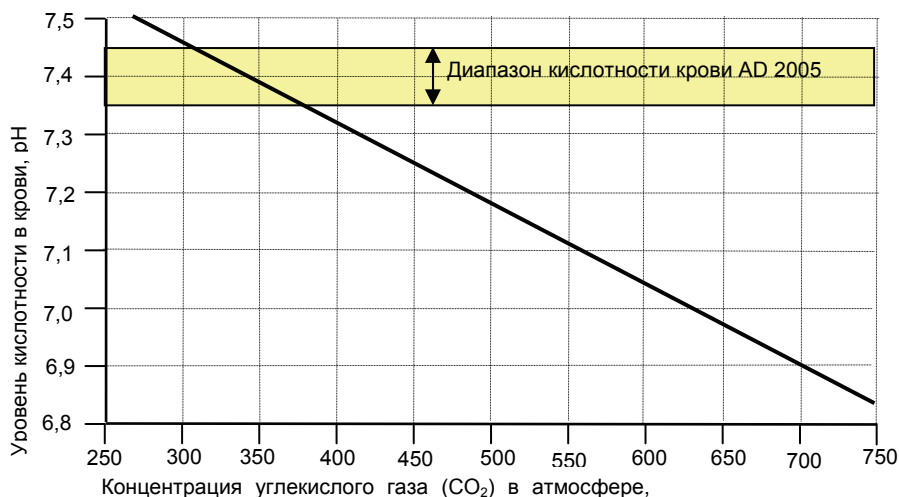


Рисунок 1. Изменение кислотности крови (pH) с увеличением концентрации углекислого газа в атмосфере. Предполагается, что экспозиция данной концентрации CO_2 происходит круглосуточно и круглогодично [8]

Исходя из этого можно предположить, что и реакция организма на концентрацию CO_2 в воздухе превышающую $C_{доп}$ будет происходить так же от нескольких часов до нескольких суток.

Тогда пусть кислотность крови изменяется в зависимости от изменения концентрации CO_2 в воздухе помещения по закону $pH=f(C)$. Предположим, что данная зависимость линейная, т.к. в данном случае для нас принципиально важна не сама функциональная зависимость, а граничные условия этой функциональной зависимости. Пусть при времени экспозиции $t_{эксп}=t_1-t_0$ и постоянной концентрации углекислого газа в воздухе помещения $C_1 > C_{доп}$ кислотность крови изменится с $pH=7,4$ до $pH=7,3$. Тогда концентрацию C_1 при времени экспозиции $t_{эксп}$ можно определить как санитарную или гигиеническую норму по CO_2 . Данную концентрацию можно считать нормой только тогда, когда после воздействия данной концентрацией при времени экспозиции $t_{эксп}$ минимальное время восстановления организма будет составлять $t_{восст}=t_2-t_1$, но уже при концентрации углекислого газа $C_2 < C_{доп}$ (рис. 2).

На наш взгляд, искусство обеспечения качества воздуха в помещении заключается в том, что используя санитарные или гигиенические нормы, можно учитывать экономическую целесообразность, не приводя к физиологическим изменениям в организме человека.

Т.е. при условии, что время экспозиции $t_{эксп}$ не будет превышать допустимого времени $t_{доп}$, а время восстановления $t_{восст}$ будет соответствовать времени полного восстановления функционирования организма до уровня нормы. При этом климатическая система должна соответствовать согласованному с заказчиком или конечным пользователем времени восстановления. Иначе созданная климатическая система может привести к необратимым процессам в организме человека.

Если предельной допустимой физиологической нормой при постоянном воздействии углекислого газа является концентрация CO_2 в воздухе равная $C_{доп}=426$ ppm и при данной концентрации CO_2 кислотность крови будет поддерживаться на уровне $pH=7,3$, тогда данная физиологическая норма вытекает из законов природы и человек может ее только зафиксировать, но не изменить.

Пусть концентрация CO_2 в воздухе помещения поддерживается системой вентиляции на уровне C_1 . При этом выполняется условие $C_1 > C_{доп}$. Учитывая, что процесс нормализации функционирования может происходить от нескольких часов до нескольких суток.

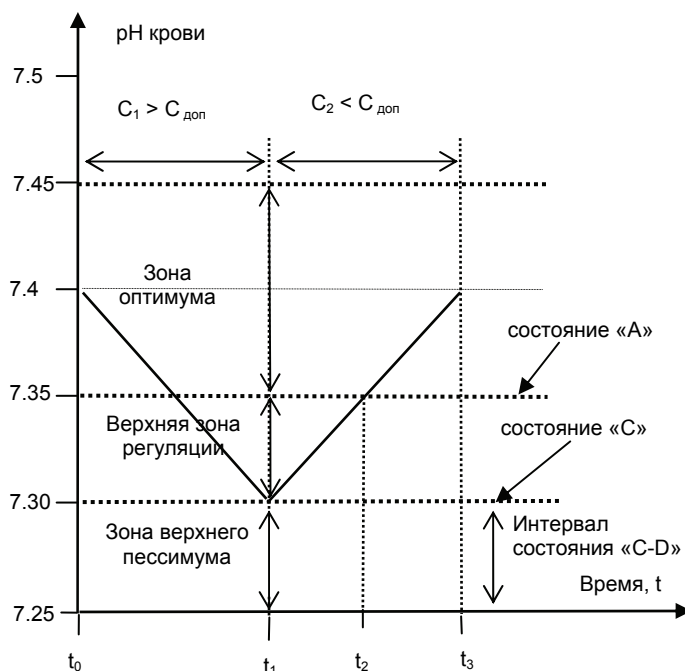


Рисунок 2. Изменение кислотности крови (pH) с течением времени $t_{эксп}=t_1-t_0$ при воздействии постоянной концентрации углекислого газа в помещении C_1 , ppm, и временем восстановления $t_{восст}=t_3-t_1$ при воздействии постоянной концентрации углекислого газа в помещении C_2 , ppm. Минимальное время восстановления $t_{восст}=t_2-t_1$

Таким образом, физиологическую норму можно отнести к законам биосферы, а гигиеническую или санитарную нормы – к законам социосферы, и значения этих норм отличаются. Поэтому нормирование температуры и кратности воздухообмена должны быть установлены как минимально допустимые границы, а качество воздуха в помещении должны обеспечивать не нормы, а проектировщик.

Для того чтобы учесть законы биосферы, сделаем предположение, что под воздействием высокой концентрации CO_2 в воздухе помещения на организм человека при переходе из состояния «С» в интервал состояния «С-Д» химические реакции в организме человека из равновесного состояния переходят в разряд колебательных. Поясним свою мысль.

Ранее мы отмечали [4], что практически во всех органах человека были обнаружены патогенные биоминералы, которые в организме человека образуют активные органно-минеральные агрегаты (ОМА). Это следствие тех или иных физических, химических и биологических процессов в организме человека.

Таким образом, суть нашего предположения заключается в том, что под воздействием высокой концентрации CO_2 в воздухе помещения на организм человека (дисперсную систему) при переходе из состояния «С» в интервал состояния «С – Д» в организме человека выполняется условие пересыщения, которое является причиной начала процесса кальцификации [5]:

$$S = [\text{Ca}^{2+}]_{\text{норм}} / [\text{Ca}^{2+}]_{\text{пред}}^{\text{C}} = \{[\text{Ca}^{2+}]_{\text{норм}} \cdot K_1 \cdot K_{\text{раств}} \cdot K_2 / [(\text{H}^+)^2 \cdot \text{PP}] \cdot P_{\text{CO}_2}\} > 1, (1)$$

где S – степень пересыщения;

$[\text{Ca}^{2+}]_{\text{норм}}$ – концентрация ионизированного кальция в крови при функционировании организма в режиме нормы;

$[\text{Ca}^{2+}]_{\text{пред}}^{\text{C}}$ – предельное значение растворимости ионизированного кальция в крови по карбонату кальция в состоянии «С».

PP – произведение растворимости кальцита (CaCO_3), $\text{PP} = 3,8 \cdot 10^{-9}$;

$K_{\text{раств}}$ – константа растворимости CO_2 в крови, $K_{\text{раств}} = 0,226 \text{ ммоль} \cdot (\text{л} \cdot \text{кПа}^{-1})$;

K_1 – первая константа диссоциации угольной кислоты, $K_{a1} = 4,3 \cdot 10^{-7}$;

K_2 – вторая константа диссоциации угольной кислоты, $\text{PP} = 5,61 \cdot 10^{-11}$;

$[\text{H}^+]$ – концентрация ионов водорода в крови; $\text{pH}_{\text{доп}} = 7,3$

P_{CO_2} – парциальное давление в крови.

При достижении организмом состояния «D» будет выполняться условие $S \leq 1$ и процесс кальцификации закончится, но при этом значение pH среды где будет проходить процесс кальцификации будет в кислотной области и будет существенно отличаться от нормы.

Поскольку механизмы компенсации организма нацелены на поддержание постоянства pH , а не нормальных концентраций HCO_3^- и CO_2 . Поэтому окончательная нормализация может произойти только тогда, когда P_{CO_2} и $[\text{HCO}_3^-]$ достигают своих нормальных значений. Поэтому механизмы компенсации организма будут стремиться вернуть организм из состояния «D» в «А», но высокая концентрация CO_2 в помещении поддерживает высокое парциальное давление в крови P_{CO_2} . Поэтому организм вернется в состояние «С», и процесс кальцификации произойдет снова. Таким образом, мы получаем в открытой системе около стационарного состояния, достаточно удаленного от химического равновесия, химические колебания (рис. 3).

Пусть при изменении концентрации C_{CO_2} углекислого газа в воздухе помещения парциальное давление крови P_{CO_2} изменяется по закону $P_{\text{CO}_2} = f(C_{\text{CO}_2})$. Условием начала процесса кальцификации в организме человека является степень пересыщения (1). Тогда, учитывая $P_{\text{CO}_2} = f(C_{\text{CO}_2})$, получаем:

$$S = [\text{Ca}^{2+}]_{\text{норм}} \cdot (K_1 \cdot K_{\text{раств}} \cdot K_2) / [(\text{H}^+)^2 \cdot \text{PP}] \cdot f(C_{\text{CO}_2}) \text{ при } \text{pH}_{\text{доп}} = 7,3,$$

т.е. изменяя концентрацию CO_2 в воздухе помещения, можно управлять степенью пересыщения в организме человека по карбонату кальция и вызывать колебательные химические реакции, которые, угнетая биологические процессы, могут приводить к различным эффектам. Но вероятность возникновения различных эффектов зависит от коэффициента опасности воздействия углекислого газа. Определяется коэффициент опасности воздействия углекислого газа как

$$\text{HQ} = C_{\text{CO}_2} / C_{\text{CO}_2 \text{ пдк}},$$

где C_{CO_2} – концентрация углекислого газа в помещении, ppm;

$C_{\text{CO}_2 \text{ пдк}}$ – предельно допустимая концентрация углекислого газа в помещении, ppm,

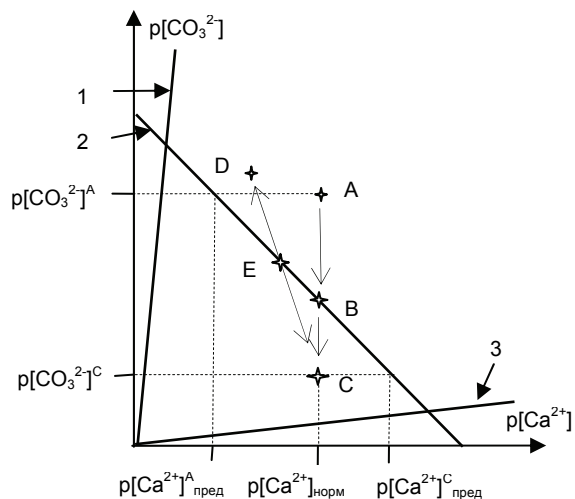


Рисунок 3. Область концентраций кристаллообразующих ионов

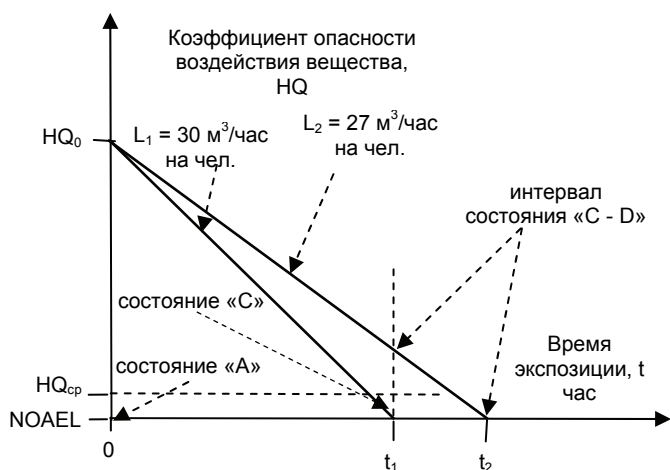


Рисунок 4. Зависимость изменения коэффициента опасности воздействия вещества от времени экспозиции при различных расходах наружного воздуха. Источник загрязнения в помещении отсутствует

Тогда высказывание В.И. Ливчака «надо сокращать воздухообмен на $4,5 \cdot 2 = 9\%$ или менее чем на $3 \text{ м}^3/\text{ч}$ из расчетных $30 \text{ м}^3/\text{ч}$ на жителя. Это будет совсем незаметно для человека», можно изобразить графически (рис. 4). Человек может и не заметить, но не его организм.

Пусть при расходе наружного воздуха $L=30 \text{ м}^3/\text{ч}$ на жителя коэффициент опасности воздействия углекислого газа за время экспозиции $t_{\text{эксп}}=t_1$ изменился с HQ_0 до $NOAEL$ и состояние организма жителя перешло из состояния «А» в состояние «С», тогда при воздействии повышенной концентрации CO_2 в воздухе помещения из-за заниженного воздухообмена на $3 \text{ м}^3/\text{ч}$ на жителя со средним коэффициентом опасности воздействия углекислого газа $HQ_{\text{ср}}$ в течение времени экспозиции $t_{\text{эксп}}=t_2-t_1$ возникает риск возникновения колебательных химических реакций в организме человека и к проявлению адаптационного синдрома. При этом мы подразумеваем, что норма в $30 \text{ м}^3/\text{ч}$ на жителя соответствует экологической обстановке на сегодняшний день, но нельзя исключать, что данная норма занижена и не отвечает современным реалиям. И все финансовые затраты по ликвидации адаптационного синдрома в организме человека будут ложиться на самих пользователей климатических систем [6, 7].

Вывод

По роду своей деятельности специалисты по климатизации зданий распоряжаются огромной свободной энергией, которая заложена в двухфазной системе, и некомпетентные действия этих специалистов могут высвободить эту энергию, которая может привести к разрушительным процессам в организме конечных пользователей климатических систем.

Литература

1. Гошка Л.Л. Энергосбережение и эффективность климатических систем // Инженерно-строительный журнал, №1/2010. СПб, 2010.
2. Оле Фангер П. Качество внутреннего воздуха в зданиях, построенных в холодном климате // АВОК, №2/2006. М., 2006.
3. Ливчак В.И. О расчете систем отопления, энергосбережении и температуре воздуха в отапливаемых помещениях жилого дома // АВОК, №2/2010. М., 2010.
4. Гошка Л.Л. Климатические системы: влияние воздуха на организм человека // Инженерно-строительный журнал, №1/2009. СПб, 2009.
5. Гошка Л.Л. Математическое моделирование и экспериментальные данные по росту кристаллов в двухфазной системе // Инженерно-строительный журнал, №4/2009. СПб, 2009.
6. Гошка Л.Л. Вам как: дешево или правильно // Журнал «С.О.К.», №9/2007. М., 2007.
7. Гошка Л.Л. Из практики по созданию СКВ и СВ. Работа с заказчиком на этапе анализа // Журнал «С.О.К.», №7/2008. М., 2008.
8. Робертсон Д.С. О том, как влияет растущий уровень CO_2 в атмосфере на организм человека // Журнал «С.О.К.», №4/2008. М., 2008.

*Леонид Леонидович Гошка, г. Сыктывкар

Тел. раб.: +7 (8212) 29-10-24, факс: +7 (8212) 24-44-10; эл. почта: tookola@mail.ru