

## Энергосбережение и эффективность климатических систем

*Коммерческий директор Л.Л. Гошка\*,  
ООО "Кола"*

Сегодня тема энергосбережения очень популярна, программа повышения энергоэффективности активно поддерживается государством. В связи с этим в технических и даже в научных кругах возникает стремление к энергосбережению во всем. Безусловно, экономия энергии полезна и с экономической, и с экологической точек зрения. Но при этом необходимо строго следить за тем, чтобы соблюдались требования по экологической безопасности. В области климатизации зданий эти требования относятся к обеспечению приемлемого качества воздуха в помещении. В данной статье мы попытались сформулировать рекомендации по «разумному энергосбережению» при проектировании климатических систем.

Если проанализировать результаты, представленные в статье [1], можно прийти к выводу, что решение задачи обеспечения приемлемого качества воздуха в помещении сводится к стандартному решению, принятому в классической механике.

Примером такого решения служит вычисление средней скорости, с которой можно преодолеть расстояние  $S$  между пунктами А и В за время  $t$ . Если решение задачи разбить на две части, тогда первая часть решения задачи будет иметь фундаментальное значение, а вторая часть прикладное (коммерческое). Решение второй части задачи будет являться основой для реализации данной задачи на практике, т.е. для извлечения прибыли за счет использования тех или иных физических и биохимических процессов.

Результатом решения первой части задачи является установление пространственно-временной связи:

$$V=S/t$$

Таким образом, средняя скорость является параметром, который связывает пространство и время.

Для решения второй части задачи исходным данным служит средняя скорость, которая в первой части решения задачи определена для идеального случая. При решении второй части задачи, для того чтобы прибыть в конечный пункт в назначенное время  $t$ , следует определить, каким транспортным средством необходимо воспользоваться.

При выборе транспортного средства необходимо учитывать различные внешние условия, которые могут повлиять на среднюю скорость. К ним можно отнести состояние дорожного покрытия, погодные условия на трассе, загруженность самой трассы и т.д. Кроме того, важную роль при выборе играет назначение самого транспортного средства. Например, если ко времени  $t$  в пункт назначения необходимо доставить груз весом  $P$  тонн, а грузоподъемность транспортного средства составляет  $P/2$ , тогда задача будет решена, но за время в три раза больше назначенного. Все эти параметры будут определять капитальные вложения при приобретении транспортного средства, и влиять на эксплуатационные затраты. Основным параметром, который будет определять эксплуатационные затраты, является расход топлива, т.е. количество энергии, которое необходимо затратить на перемещение груза из пункта А в пункт В.

Если с целью снижения эксплуатационных затрат транспортное средство будет обеспечено топливом, которого хватит только на половину пути, тогда задача не имеет решения. Вероятность того, что задача не будет выполнена, повышается в случаях, если с целью экономии финансовых средств на эксплуатацию своевременно и качественно не было проведено техническое обслуживание и ремонт транспортного средства. Своевременное выполнение задачи существенно зависит от квалификации водителя.

Очевидно, что самым эффективным из всех транспортных средств, удовлетворяющих вышеизложенным требованиям, будет то средство, характеристикой которого будет наименьший расход топлива. Расход топлива также существенно будет влиять и на время окупаемости капитальных вложений.

Отсюда можно сделать вывод, что без решения первой части задачи при выборе транспортного средства повышается риск неэффективного использования финансовых средств. Другими словами, одной из причин неэффективного использования финансовых средств может являться отсутствие решения первой части задачи, и как результат этого, вторая часть задачи может не иметь решения.

Оценить эффективность вложения финансовых средств в обеспечение приемлемого качества воздуха в помещении можно через соотношение стоимости климатического оборудования, из которого были созданы климатические системы, способные поддерживать в помещении приемлемое качество воздуха, к стоимости всего климатического оборудования, проданного на климатическом рынке за год. Учитывая острую проблему синдрома больного здания, мы можем сделать вывод, что эффективность вложения финансовых средств в обеспечение приемлемого качества воздуха в помещении крайне низкая.

На наш взгляд, причиной является то, что на сегодняшний день вторая часть задачи по обеспечению приемлемого качества воздуха в помещении не имеет решения. Это связано с тем, что в действиях проектировщика при создании климатических систем в соответствии с постулатами Парацельса [2] имеется неопределенность в оценке риска отрицательного влияния воздуха на организм человека:

Неопределенность=Вариабельность+отсутствие сведений.

А должны получать

$$\text{Риск}=(\text{Токсичность})\times(\text{Доза}).$$

Если

$$\text{Экспозиция}=\text{Доза},$$

тогда

$$\text{Риск}=(\text{Токсичность})\times(\text{Экспозиция}),$$

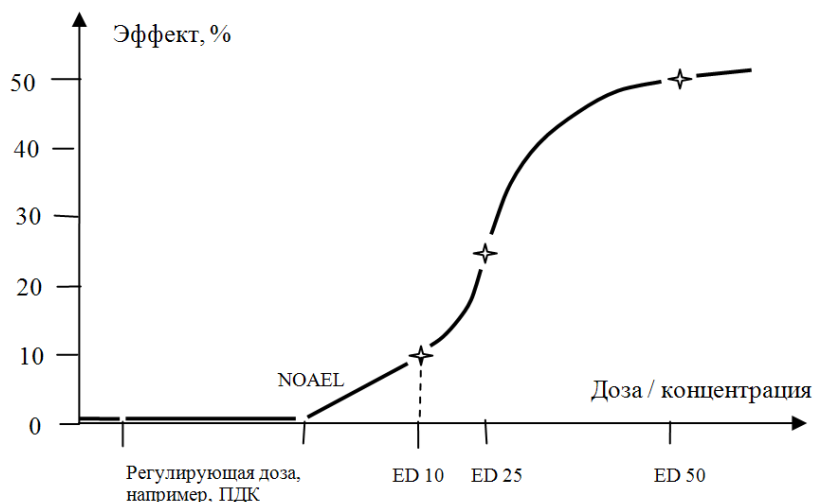
где риск – вероятность причинения вреда жизни или здоровью граждан [3];

доза – основная мера экспозиции, характеризующая количество химического вещества, воздействующего на организм;

экспозиция (воздействие) – контакт организма (рецептора) с химическим, физическим или биологическим агентом. Величина экспозиции определяется как измеренное или рассчитанное количество агента в конкретном объекте окружающей среды, находящееся в соприкосновении с так называемыми пограничными органами человека (легкие, пищеварительный тракт, кожа) в течение какого-либо точно установленного времени. Экспозиция может быть выражена как общее количество вещества в окружающей среде (в единицах массы, например, мг), или как величина воздействия – масса вещества, отнесенная к единице времени (например, мг/день).

Поэтому далее попытаемся решить первую часть задачи. Очевидно, что в начальных данных поставленной задачи, так или иначе, должен фигурировать человек, т.к. организм человека реагирует на любые изменения химического состава и концентраций химических соединений в воздухе помещений в виде изменения протекания биохимических реакций внутри организма. Тем самым, если искусственно менять те или иные параметры воздуха в помещении, можно управлять риском отрицательного влияния воздуха на организм человека (влияя на протекание тех или иных биохимических реакций внутри организма).

Другими словами, нашей целью будет извлечение прибыли за счет снижения до минимума риска<sup>1</sup> отрицательного влияния воздуха на организм человека и обеспечение функционирования организма человека в зоне оптимума.



**Рисунок 1. Зависимость «доза – ответ» [3]. Эффект – вероятность проявления синдрома больного здания. NOAEL – наивысшая доза, при которой не наблюдается вредного эффекта (аналогичен термину «максимальная недействующая доза/концентрация»). ED 10 – эффективная доза. Доза, соответствующая 10% увеличению неблагоприятного эффекта по отношению к NOAEL.**

Управлять риском отрицательного влияния воздуха на организм человека возможно за счет управления экспозицией, т.е. используя зависимость «экспозиция-ответ». Зависимость «экспозиция-ответ» – связь между воздействующей дозой (концентрацией), режимом, продолжительностью воздействия и степенью выраженности, распространенности изучаемого вредного эффекта в экспонируемой популяции.

В нашем случае за степень выраженности, распространенности изучаемого вредного эффекта в экспонируемой популяции можно взять вероятность (риск) проявления эффекта синдрома больного здания (рис. 1).

<sup>1</sup> Управление риском – процесс принятия решений, включающий рассмотрение совокупности политических, социальных, экономических, медико-социальных и технических факторов совместно с соответствующей информацией по оценке риска с целью разработки оптимальных решений по устранению или снижению уровней риска, а также способам последующего контроля (мониторинга) экспозиций и рисков.

Для характеристики риска развития неканцерогенных эффектов наиболее часто используются такие показатели зависимостей «доза-ответ», как максимальная недействующая доза и минимальная доза, вызывающая пороговый эффект (для неканцерогенов и канцерогенов, обладающих негенотоксическим механизмом действия). Эти показатели являются основой для установления уровней минимального риска – референтных доз (RfD) и концентраций (RfC) химических веществ. Их применение характеризует правдоподобие отсутствия вредных реакций. Превышение референтной (безопасной) дозы не обязательно связано с развитием вредного эффекта: чем выше воздействующая доза, и чем больше она превосходит референтную, тем выше вероятность появления вредных ответов. Однако оценить эту вероятность при данном методическом подходе не возможно. В связи с этим итоговые характеристики оценки экспозиции на основе референтных доз и концентраций получили название коэффициентов и индексов опасности (HQ, HI)

При ингаляционном поступлении расчет коэффициента опасности может осуществляться по формуле:

$$HQ_i = C_i / RfC, \quad (1)$$

где HQ – коэффициент опасности воздействия вещества i;

$C_i$  – уровень воздействия вещества i, мг/м<sup>3</sup>;

RfC – безопасный уровень воздействия, мг/м<sup>3</sup>.

Для решения нашей задачи выражение (1) можно представить как:

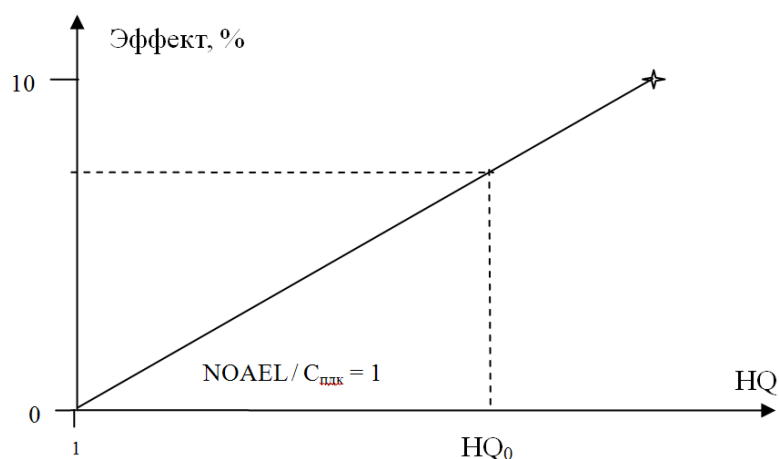
$$HQ_i = Ch_i / C_{пдк}, \quad (2)$$

где  $Ch_i$  – концентрация i-го вещества в воздухе помещения, мг/м<sup>3</sup>,

$C_{пдк}$  – предельно допустимая концентрация i-го вещества в воздухе помещения, мг/м<sup>3</sup>.

Таким образом, в начальный момент времени  $t_0=0$ . Произведя в помещении замеры инструментальным методом, можно определить концентрацию i-го вещества.

Полученные данные позволяют, используя уравнение (2), вычислить начальное значение  $HQ_0$ . При непрерывном поддержании значения  $HQ_0$  на данном уровне мы получаем определенную вероятность проявления синдрома больного здания. Таким образом, мы получили первую точку в пространстве. Поскольку решением нашей задачи является снижение вероятности проявления синдрома больного здания до уровня, соответствующего нулевой отметке, нам необходимо тем или иным способом перенести эту точку в пространстве из начального ее положения в точку NOAEL (рис. 2). Следовательно, второй точкой в пространстве будет коэффициент опасности воздействия вещества  $HQ_{п=1}$ .



**Рисунок 2. Зависимость «начальный коэффициент опасности вещества – ответ»**

Очевидно, что для того чтобы изменить значение коэффициента опасности воздействия вещества, потребуется использовать некий метод и, в соответствии с используемым методом, изменение значения коэффициента произойдет за время  $t$ . Мы воспользуемся методом разбавления химических соединений в помещении за счет использования атмосферного воздуха. Для этого можно использовать различные технические решения, например, систему вентиляции. Но можно использовать и баллон со сжатым атмосферным воздухом или любое другое устройство, способное подавать в помещение атмосферный воздух. Работу данных устройств можно описать как:

$$V_{атм} = L \cdot t \quad (3),$$

где  $V_{атм}$  – объем атмосферного воздуха, поданный в помещение устройством за время  $t$ , м<sup>3</sup>;

$L$  – расход атмосферного воздуха, которое обеспечивает в помещении устройство, м<sup>3</sup>/час.

Таким образом, мы можем получить связь между пространством и временем через расход наружного воздуха  $L$ .

Поэтому, для того чтобы задача имела решение в первой части, необходимо установить связь между изменением коэффициента опасности воздействия вещества и объемом атмосферного воздуха, который необходимо будет подавать в помещение.

Количественные соотношения, устанавливающиеся при разбавлении растворов водой, смешении растворов, газов или твердых материалов различных концентраций, можно найти на основании материального баланса [1].

Для упрощения решения задачи будем считать, что источник загрязнения в помещении отсутствует.

Разбавление  $i$ -го вещества в помещении за счет использования атмосферного воздуха можно описать как:

$$HQ_j = (HQ_{j-1} \cdot V_{\text{пом.}} + HQ_{\text{атм}} \cdot \Delta V_{\text{нар}}) / (V_{\text{пом.}} + \Delta V_{\text{нар}}) \quad (4),$$

где  $j$  от 1 до  $n$ ;  $0 \leq HQ_{\text{атм}} \leq 1$ ;  $HQ_n = 1$ ;  $n$  – количество шагов при разбавлении;  $V_{\text{пом.}}$  – объем помещения,  $\text{м}^3$ ;  $\Delta V_{\text{нар}}$  – объем атмосферного воздуха, подаваемый в помещение за один шаг при разбавлении,  $\text{м}^3$ ;  $HQ_0$  – начальное значение коэффициента опасности воздействия  $i$ -го вещества в помещении;  $HQ_{\text{атм}}$  – значение коэффициента опасности воздействия  $i$ -го вещества в атмосферном воздухе.

Или системой уравнений:

$$\begin{aligned} HQ_1 &= (HQ_0 \cdot V_{\text{пом.}} + HQ_{\text{атм}} \cdot \Delta V_{\text{нар}}) / (V_{\text{пом.}} + \Delta V_{\text{нар}}) \\ HQ_2 &= (HQ_1 \cdot V_{\text{пом.}} + HQ_{\text{атм}} \cdot \Delta V_{\text{нар}}) / (V_{\text{пом.}} + \Delta V_{\text{нар}}) \\ HQ_3 &= (HQ_2 \cdot V_{\text{пом.}} + HQ_{\text{атм}} \cdot \Delta V_{\text{нар}}) / (V_{\text{пом.}} + \Delta V_{\text{нар}}) \quad (5) \\ &\dots\dots\dots \\ HQ_{n-1} &= (HQ_{n-2} \cdot V_{\text{пом.}} + HQ_{\text{атм}} \cdot \Delta V_{\text{нар}}) / (V_{\text{пом.}} + \Delta V_{\text{нар}}) \\ HQ_n &= (HQ_{n-1} \cdot V_{\text{пом.}} + HQ_{\text{атм}} \cdot \Delta V_{\text{нар}}) / (V_{\text{пом.}} + \Delta V_{\text{нар}}) \end{aligned}$$

Решением системы уравнений является выражение:

$$HQ_j = (HQ_0 - HQ_{\text{атм}}) \cdot [V_{\text{пом.}} / (V_{\text{пом.}} + \Delta V_{\text{нар}})]^j + HQ_{\text{атм}} \quad (6)$$

где  $j$  от 1 до  $n$

Из уравнения (6) следует, что изменение коэффициента опасности воздействия  $i$ -го вещества в помещении зависит от объема подаваемого в помещение атмосферного воздуха:

$$V_{\text{нар}} = \sum \Delta V_{j\text{нар}},$$

где  $j$  от 1 до  $n$ ,

Прологарифмировав уравнение (6) при  $j=n$  и, выразив из него  $n$ , получаем:

$$n = \frac{\lg \left[ \frac{(HQ_0 - HQ_{\text{атм}}) / (HQ_n - HQ_{\text{атм}})}{(V_{\text{пом.}} + \Delta V_{\text{нар}}) / V_{\text{пом.}}} \right]}{\lg \left[ \frac{(V_{\text{пом.}} + \Delta V_{\text{нар}}) / V_{\text{пом.}}}{V_{\text{пом.}}} \right]} \quad (7).$$

Тогда объем атмосферного воздуха  $V_{\text{нар}}$ , который будет необходимо подать в помещение, можно определить как:

$$V_{\text{нар}} = \Delta V_{\text{нар}} \cdot n, \quad (8)$$

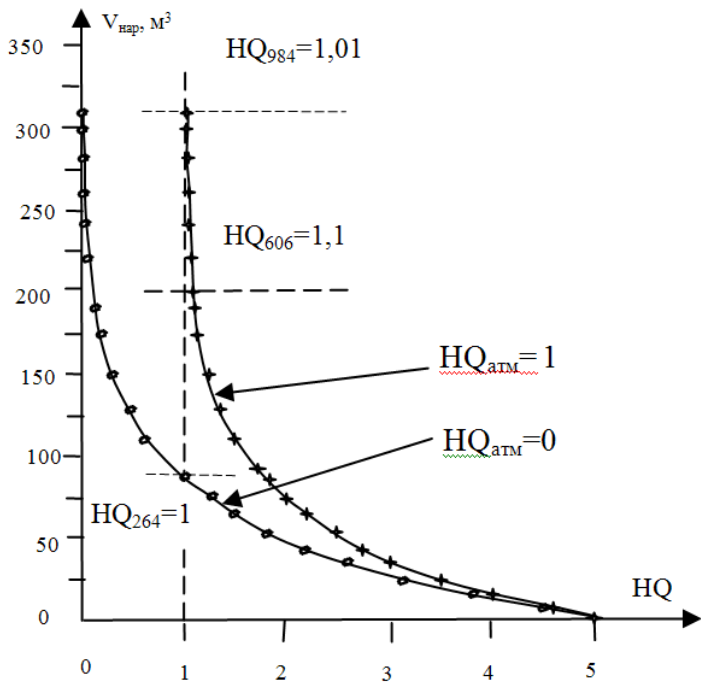
Подставляя выражение (7) в (8) получаем:

$$V_{\text{нар}} = \frac{V_{\text{нар}} \cdot \lg \left[ \frac{(HQ_0 - HQ_{\text{атм}}) \cdot (HQ_n - HQ_{\text{атм}})}{(V_{\text{пом.}} + \Delta V_{\text{нар}}) / V_{\text{пом.}}} \right]}{\lg \left[ \frac{(V_{\text{пом.}} + \Delta V_{\text{нар}}) / V_{\text{пом.}}}{V_{\text{пом.}}} \right]} \quad (9),$$

где  $HQ_n = 1$

На рис. 3 представлен график зависимости изменения объема атмосферного воздуха  $V_{\text{нар}}$  в  $\text{м}^3$ , который необходимо будет подавать в помещение, чтобы изменить коэффициент опасности воздействия  $i$ -го вещества в помещении от начального значения  $HQ_0=5$  до  $HQ_n=1$  при граничных условиях, когда для разбавления используется:

1. чистый атмосферный воздух,  $HQ_{\text{атм}}=0$
  2. атмосферный воздух, загрязненный до уровня ПДК,  $HQ_{\text{атм}}=1$ .
- Разделим правую и левую часть уравнения (9) на  $V_{\text{пом.}}$ :



**Рисунок 3. График зависимости изменения объема атмосферного воздуха в м<sup>3</sup>, который необходимо будет подавать в помещение, чтобы изменить коэффициент опасности воздействия i-го вещества в помещении от значения HQ<sub>0</sub>=5 до HQ<sub>n</sub>=1**

$$V_{нар} / V_{пом} = \frac{\lg[(HQ_0 - HQ_{атм}) / (1 - HQ_{атм})]}{\lg[1 + \Delta V_{нар} / V_{пом}]^{V_{пом} / \Delta V_{нар}}}$$

Обозначим  $K = V_{нар} / V_{пом}$ , где  $K$  – кратность смены воздуха в помещении. Учитывая, что условием разбавления является  $V_{пом} \gg \Delta V_{нар}$ ,

$$\lg[1 + \Delta V_{нар} / V_{пом}]^{V_{пом} / \Delta V_{нар}} = 0,43,$$

а уравнение (9) принимает вид:

$$K = 2,3 \cdot \lg[(HQ_0 - HQ_{атм}) / (HQ_n - HQ_{атм})] \quad (10),$$

где  $HQ_n = 1$ .

Из уравнения (10) следует, что, определив концентрацию i-го вещества в помещении и в атмосферном воздухе, можно рассчитать необходимую кратность смены воздуха в помещении.

Таким образом, вентиляционная система обеспечивает смену воздуха:

$$L \cdot t = 2,3 \cdot V_{пом} \cdot \lg[(HQ_0 - HQ_{атм}) / (1 - HQ_{атм})] \quad (11)$$

где  $L$  – расход наружного воздуха, который обеспечивает вентиляционная система, м<sup>3</sup>/час;

$t$  – время (режим) работы вентиляционной системы, час.

При практической реализации такой смены воздуха можно считать, что по окончании работы вентиляционной системы, когда в помещение будет подан весь необходимый объем атмосферного воздуха, организм конечного пользователя данной вентиляционной системы будет функционировать на границе между зоной оптимума и верхней зоны регуляции [4, 5]. А режим работы вентиляционной системы для организма конечного пользователя этой системы будет являться временем экспозиции (рис. 4).

Для того чтобы функционирование организма конечного пользователя данной вентиляционной системой привело к правой границе зоны оптимума (допустимое значение), потребуется минимальное количество энергии на подогрев наружного воздуха:

$$Q_{мин} = 2,33 \cdot c_p \cdot \rho_n \cdot (T_b - T_n) \cdot V_{пом} \cdot \lg[(HQ_0 - HQ_{атм}) / (1 - HQ_{атм})] \quad (12),$$

где  $c_p$  – теплоемкость воздуха,  $c_p = 1,005$  кДж/кг · °С;

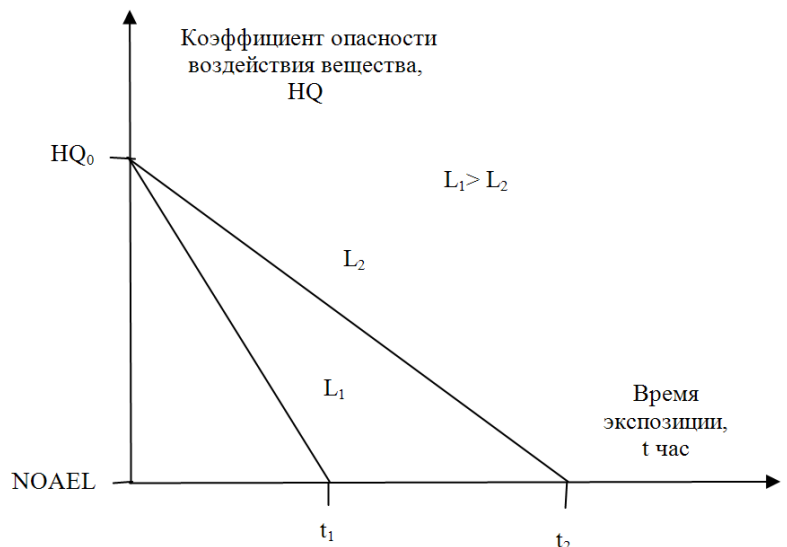
$\rho_n$  – плотность наружного воздуха при расчетных температурах, кг/м<sup>3</sup>;

$T_b$  и  $T_n$  – значения температуры наружного и внутреннего воздуха в помещении.

При дальнейшем загрязнении атмосферного воздуха  $HQ_{атм}$  от 0 до 1 и при остальных равных условиях минимальное количество энергии вырастет на:

$$\Delta Q_{мин} = 2,33 \cdot c_p \cdot \rho_n \cdot (t_b - t_n) \cdot V_{пом} \cdot \lg\{(HQ_0 - HQ_{атм}) / [(1 - HQ_{атм}) \cdot HQ_0]\} \quad (13).$$

Например, дальнейшее увеличение концентрации углекислого газа в атмосферном воздухе может привести к изменению климата в сторону потепления, тогда необходимое количество энергии на отопление помещения уменьшится пропорционально повышению  $T_n$ . А количество энергии, необходимой на вентиляцию



**Рисунок 4. Зависимость коэффициента опасности воздействия вещества в воздухе помещения от времени экспозиции при различных расходах наружного воздуха**

помещения, будет возрастать по логарифмической зависимости, и в пределе будет стремиться к бесконечности:

$$\lim_{HQ_{атм} \rightarrow 1} \lg \left[ \frac{(HQ_0 - HQ_{атм})}{(1 - HQ_{атм})} \right] = \infty$$

Административные меры по сокращению минимального количества энергии на вентилирование помещений приведет к риску возникновения в организме человека органоминеральных агрегатов (кальцита) и появлению ацидоза. Кроме того, можно ожидать увеличения количества мутаций в организме человека [9].

При высоком загрязнении атмосферного воздуха такие меры неизбежно будут приняты. По мере загрязнения атмосферного воздуха будет увеличиваться потребность в необходимом минимальном количестве энергии на вентилирование помещений, и эта потребность превысит физическую возможность производства энергии.

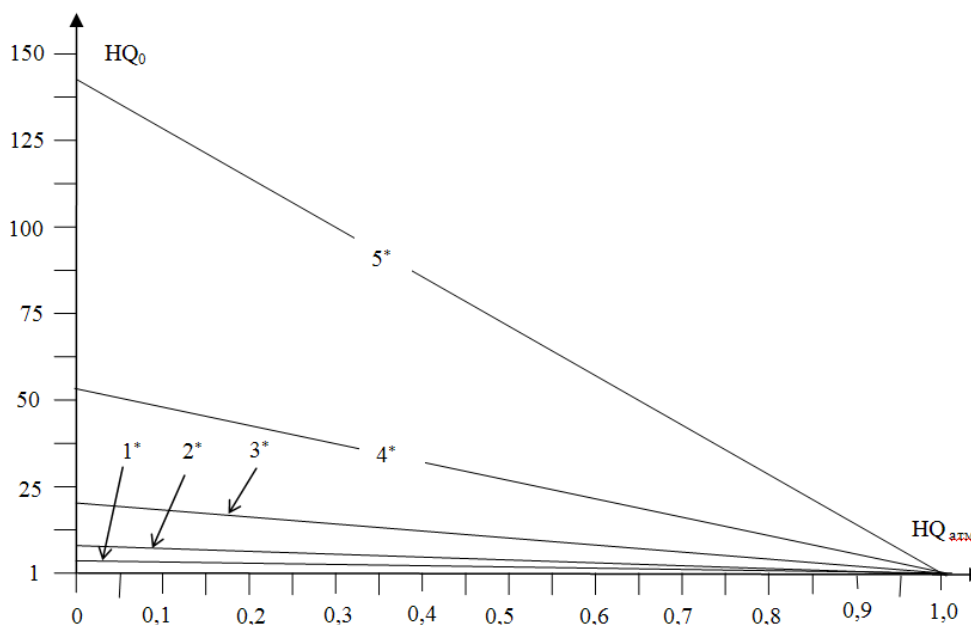
Следовательно, для снижения энергопотребления при обеспечении приемлемого качества воздуха в помещении необходимы эффективные меры по внедрению энергосберегающих технологий.

Приведем уравнение (10) к виду:

$$HQ_0 = 10^{0.43 \cdot K} \cdot (HQ_n - HQ_{атм}) + HQ_{атм} \quad (14),$$

где  $HQ_n = 1$

Данная зависимость приведена на рис. 5.



**Рисунок 5. Зависимость коэффициента опасности воздействия вещества в помещении от уровня загрязнения атмосферного воздуха при различной кратности смены воздуха в помещении K**

Из графика зависимости коэффициента опасности воздействия вещества в помещении  $HQ_0$  от уровня загрязнения атмосферного воздуха  $HQ_{атм}$  при различной кратности смены воздуха в помещении  $K$  можно сделать вывод, что по мере загрязнения атмосферного воздуха эффективность разбавления падает. При фиксированном значении необходимой кратности смены воздуха в помещении  $K$  и увеличении значения коэффициента опасности воздействия вещества  $i$  в атмосферном воздухе  $HQ_{атм} \rightarrow 1$  из-за падения эффективности разбавления коэффициент опасности воздействия вещества  $i$  в помещении падает  $HQ_0 \rightarrow 0$ .

Рассмотрим два граничных условия:  $HQ_{атм} = 0$  и  $HQ_{атм} = 1$ . Для того чтобы исключить появление неопределенности в аргументе функции логарифма, будем считать, что при  $HQ_{атм} = 1$  значение NOAEL достигается при  $HQ_n = 1,01$ .

Обозначим  $pHQ_0 = \lg HQ_0$ ;  $p(HQ_0 - 1) = \lg (HQ_0 - 1)$ .

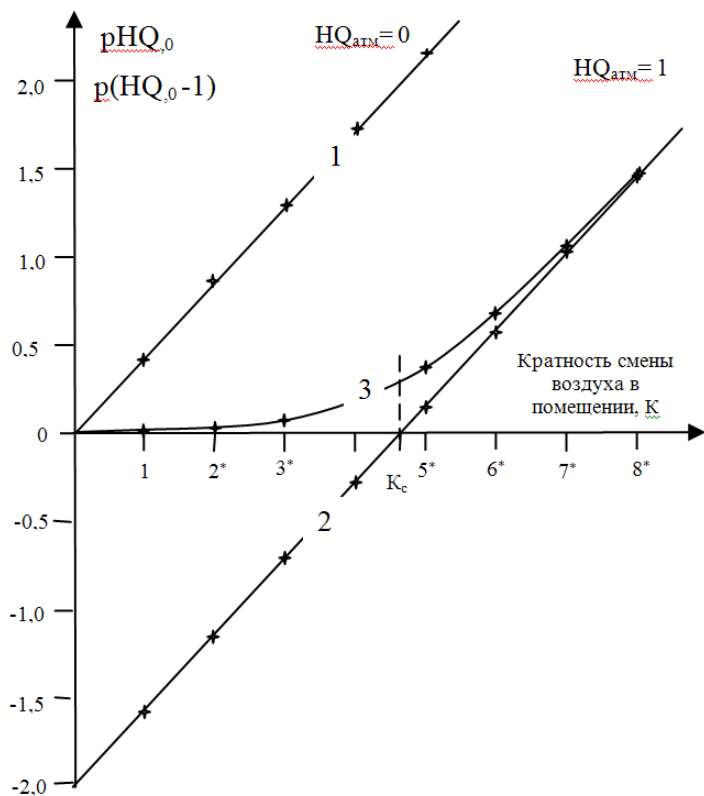
Тогда из уравнения (10) получаем:

при  $HQ_{атм} = 0$

$$pHQ_0 = 0.43 \cdot K \quad (15);$$

при  $HQ_{атм} = 1$

$$p(HQ_0 - 1) = 0.43 \cdot K + \lg (HQ_n - 1) = 0.43 \cdot K - 2 \quad (16).$$



**Рисунок 6. График зависимости величин  $pHQ_0$  и  $p(HQ_0-1)$  от кратности смены воздуха в помещении  $K$  при различных условиях:**  
 $pHQ_0$  при  $HQ_{атм}=0$ ;  
 $p(HQ_0-1)$  при  $HQ_{атм}=1$ ;  
 $pHQ_0$  при  $HQ_{атм}=1$ .

А прологарифмировав уравнение (14), получаем:

$$pHQ_0 = \lg[10^{0.43K} \cdot (HQ_n - 1) + 1] = \lg[0.01 \cdot 10^{0.43K} + 1] \quad (17).$$

Результаты расчетов приведены на рис. 6.

Отметим на рис. 6 характерную точку  $K_c$ . Тогда:

- 1) зону в интервале  $0 < K \leq K_c$  можно определить как зону наименьшей эффективности разбавления;
- 2) зону при  $K > K_c$  можно определить как зону наибольшей эффективности разбавления.

А значение  $K_c$  разделяет эти две зоны. Тогда значение  $K_c$  можно определить из условия, что  $p(HQ_0-1)=0$ :

$$K_c = -\lg(HQ_n - 1) / 0,43$$

Таким образом, чем меньше будет задана разница между значениями  $HQ_n$  и  $NOAEL$ , тем ширина зоны наименьшей эффективности разбавления будет больше, т.е. эффективность разбавления будет падать.

Пусть  $K = \sum m$ ,

где  $K$  – общая кратность смены воздуха в помещении;  $m$  – единичный элемент кратности  $K$ .

Для того чтобы различать начальные данные  $HQ_0$  и промежуточные значения  $HQ$ , обозначим промежуточные значения  $HQ$  как  $HQ_{K,m}$ .

Тогда общую закономерность кратности смены воздуха в помещении можно изобразить следующим образом:

$$HQ_{1,0} = HQ_{2,1} = HQ_{3,2} = \dots$$

$$HQ_{2,0} = HQ_{3,1} = HQ_{4,2} = \dots$$

$$HQ_{3,0} = HQ_{4,1} = HQ_{5,2} = \dots$$

$$\dots$$

$$HQ_{K,0} = HQ_{K+1,1} = HQ_{K+2,2} = \dots$$

Для наглядности полученные результаты приведены в таблице 1.

**Таблица 1**

Наименование	Кратность смены воздуха в помещении, $K = V_{нар}/V_{пом}$ .															
	$HQ_n = 1, HQ_{0 атм} = 0, HQ_0 = 10^{0.43 \cdot K}$								$HQ_n = 1,01, HQ_{0 атм} = 1, HQ_0 = (0.01 \cdot 10^{0.43 \cdot K} + 1)$							
	1'	2'	3'	4'	5'	6'	7'	8'	1'	2'	3'	4'	5'	6'	7'	8'
$HQ_{K,0}$	2,70	7,24	19,50	52,48	141,25	380,19	1023,29	2754,23	1,027	1,072	1,195	1,525	2,413	4,802	11,23	28,54
$HQ_{K,1}$	1,00	2,70	7,24	19,50	52,48	141,25	380,19	1023,29	1,010	1,027	1,072	1,195	1,525	2,413	4,802	11,23
$HQ_{K,2}$	-	1,00	2,70	7,24	19,50	52,48	141,25	380,19	-	1,010	1,027	1,072	1,195	1,525	2,413	4,802
$HQ_{K,3}$	-	-	1,00	2,70	7,24	19,50	52,48	141,25	-	-	1,010	1,027	1,072	1,195	1,525	2,413
$HQ_{K,4}$	-	-	-	1,00	2,70	7,24	19,50	52,48	-	-	-	1,010	1,027	1,072	1,195	1,525
$HQ_{K,5}$	-	-	-	-	1,00	2,70	7,24	19,50	-	-	-	-	1,010	1,027	1,072	1,195
$HQ_{K,6}$	-	-	-	-	-	1,00	2,70	7,24	-	-	-	-	-	1,010	1,027	1,072
$HQ_{K,7}$	-	-	-	-	-	-	1,00	2,70	-	-	-	-	-	-	1,010	1,027
$HQ_{K,8}$	-	-	-	-	-	-	-	1,00	-	-	-	-	-	-	-	1,010

Далее, используя общую закономерность кратности смены воздуха в помещении и уравнение (12), можно определить меры, которые могут приводить к энергосбережению.

1. При невысоком загрязнении атмосферного воздуха  $HQ_{атм} < 1$  эффективной энергосберегающей технологией можно считать технологию утилизации теплоты удаляемого воздуха.

$$Q_{мин} = Q_{пр} + Q_{вт},$$

где  $Q_{пр}$  – количество тепла, получаемого при прямом нагреве наружного воздуха;

$Q_{вт}$  – количество тепла, получаемого за счет вторичных энергетических ресурсов.

Чем больше будет доля использования вторичных энергетических ресурсов в процессе обеспечения приемлемого качества воздуха в помещении, тем меньше потребуются установленная мощность калорифера.

2. При высоком загрязнении атмосферного воздуха  $HQ_{атм} \approx 1$ , например, углекислым газом эффективной энергосберегающей технологией будет глубокая очистка наружного воздуха.

По данным Д.С. Робертсона [7], естественной концентрацией  $CO_2$  в атмосферном воздухе можно считать значение  $C_a = 320$  ppm. На сегодняшний день концентрация  $CO_2$  в атмосферном воздухе составляет  $C_a = 373$  ppm. Предельной концентрацией можно считать уровень  $C_{пдк} = 426$  ppm. Тогда коэффициент опасности воздействия углекислого газа в атмосферном воздухе составляет:

$$HQ_{атм}^{ест} = 320/426 = 0,75.$$

На сегодняшний день этот коэффициент составляет:

$$HQ_{атм} = 373/426 = 0,875.$$

По данным Е.О. Шилькрота и Ю. Д. Губернского [8], «измерения в офисах и на улицах Москвы показали, что в ряде офисов уровень  $CO_2$  достигал 2 000 ppm и выше».

Воспользуемся этими данными и возьмем значение  $HQ_0 = 2000/426 = 4,7$  и рассчитаем по уравнению (10), какая кратность смены воздуха при проветривании (проветривание осуществляется в отсутствие людей в помещении) требовалась бы в естественных условиях и в настоящее время.

При проветривании помещения атмосферным воздухом с  $C_a = 320$  ppm:

$$K_{320} = 2,33 \cdot \lg[(4,7 - 0,75) / (1 - 0,75)] = 2,8$$

При проветривании помещения атмосферным воздухом с  $C_a = 373$  ppm:

$$K_{373} = 2,33 \cdot \lg[(4,7 - 0,875) / (1 - 0,875)] = 3,5$$

Учитывая общую тенденцию к повышению концентрации углекислого газа в атмосферном воздухе, спрогнозируем, какая кратность смены воздуха в помещении потребуется при более высоких значениях  $HQ_{атм}$ .

При проветривании помещения атмосферным воздухом с  $C_a = 420$  ppm  $HQ_{атм} = 420/426 = 0,986$ :

$$K_{420} = 2,33 \cdot \lg[(4,7 - 0,986) / (1 - 0,986)] = 5,6.$$

При проветривании помещения атмосферным воздухом с  $C_a = 425$  ppm  $HQ_{атм} = 425/426 = 0,9977$ :

$$K_{425} = 2,33 \cdot \lg[(4,7 - 0,9977) / (1 - 0,9977)] = 7,5$$

Следует отметить, что данный расчет производился в отсутствие источника загрязнения в помещении. В присутствие людей в помещении (при наличии источника  $CO_2$ ) кратность смены воздуха в помещении может возрасти. Следовательно, возрастет  $Q_{мин}$ , и значения будут совершенно другими.

Поэтому глубокая очистка наружного воздуха за счет уменьшения значения  $HQ_{атм}$  позволит повысить эффективность разбавления углекислого газа в помещении и тем самым уменьшит необходимую кратность смены воздуха в помещении  $K$ .

3. Дополнительной энергосберегающей технологией можно считать технологию воздухораспределения в помещении. Переход от технологии перемешивания воздуха в помещении к технологии вытеснения и персональной вентиляции позволяют виртуально уменьшить объем помещения до объема зоны дыхания. Но при таком воздухораспределении по высоте помещения возникает градиент концентраций, который может приводить к конвекционным потокам. Между тем данная технология является достаточно перспективной.

Использование всех этих технологий в комплексе как меры по снижению энергопотребления при обеспечении приемлемого качества воздуха в помещении (профилактике различных заболеваний) может привести к хорошему экономическому эффекту.



Итак, решение задачи обеспечения приемлемого качества воздуха в помещении методом разбавления воздуха в помещении за счет атмосферного воздуха привело к тому, что вместо рассмотрения зависимости «доза – ответ» необходимо и достаточно знать кратность смены воздуха в помещении и допустимое время экспозиции.

По этому поводу в статье [8] был сделан важный вывод:

«В настоящее время принято считать, что основными вредностями в офисных помещениях являются продукты жизнедеятельности человека, в первую очередь углекислый газ. Это положение было введено в гигиеническую практику М. Pettenkofer еще в позапрошлом веке. Кроме углекислого газа, загрязнителями воздуха в помещениях офисов служат антропоксины, а также вредные выделения, содержащиеся в приточном наружном воздухе, и вредные выделения от элементов интерьера помещения – ограждающих конструкций, покрытий, предметов обстановки и т. п. Таким образом, становится очевидным, что определяющим при установлении необходимого воздухообмена являются исследования, выполненные врачами-гигиенистами».

Поскольку разбавление всех химических соединений подчиняется одной и той же функциональной зависимости, в соответствии с выражением (10) проектировщику для грамотного проектирования климатических систем достаточно знать кратность смены воздуха в помещении и допустимое время экспозиции, которые ему должны давать врачи-гигиенисты, используя инструментальные методы измерений.

Если данный механизм взаимодействия врачей-гигиенистов и проектировщиков будет запущен как государственное регулирование, направленное на обеспечение здоровья населения, тогда могут появиться инструментальные методы контроля качества воздуха в помещении в процессе эксплуатации климатических систем.

Данный механизм взаимодействия, освобождая проектировщика от необходимости расчета воздухообмена, ориентирует его на внедрение энергосберегающих технологий. Тем самым эффективность вложения финансовых средств в обеспечение приемлемого качества воздуха в помещении будет возрастать.

## Литература

1. Гошка Л.Л. Климатические системы: расчет воздухообмена в помещении //Инженерно-строительный журнал, №8/2009. СПб, 2009.
2. Новиков С.М. Химическое загрязнение окружающей среды: основы оценки риска для здоровья населения. М., 2002.
3. Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. М., 2004.
4. Гошка Л.Л. Климатические системы: влияние воздуха на организм человека // Инженерно-строительный журнал, №1/2009. СПб, 2009.
5. Гошка Л.Л. Климатические системы и образование патогенных биоминералов в организме человека // Инженерно-строительный журнал, №2/2009. СПб, 2009.
6. Гошка Л.Л. Разрушение строительных материалов с точки зрения метода кристаллизации в гелях //Инженерно-строительный журнал, №3/2009. СПб, 2009.
7. Робертсон Д.С. О том, как влияет растущий уровень CO<sub>2</sub> в атмосфере на организм человека // Журнал «С.О.К.», №4/2008.
8. Шилькрот Е.О., Губернский Ю.Д. Сколько воздуха нужно человеку для комфорта? // Журнал АВОК, №4/2008.
9. Гошка Л.Л. Климатические системы: влияние воздуха на клеточные функции. // Инженерно-строительный журнал, №6/2009. СПб, 2009.

*\*Леонид Леонидович Гошка, г. Сыктывкар*

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