

CO₂



критерий эффективности систем вентиляции

А. Л. Наумов, канд. техн. наук, генеральный директор ООО «НПО ТЕРМЭК», otvet@abok.ru

Д. В. Капко, главный специалист ООО «НПО ТЕРМЭК»

Ключевые слова: качество воздуха, углекислый газ, вентиляция, воздухообмен, энергетическая эффективность, энергосбережение

Вопросам влияния качества воздуха в помещениях зданий на самочувствие людей уделяется особое внимание как экологами, врачами, диагностами, так и инженерами, проектировщиками систем вентиляции и кондиционирования воздуха. От качества воздуха зависит физическое

состояние человека: при неудовлетворительном качестве воздуха люди чувствуют недомогание, потерю концентрации внимания, развитие болезней и т.д.

К вредностям, подлежащим ассимиляции системами вентиляции, относятся газообразные загрязнители, выделяемые

в процессе дыхания и через поверхность кожи человека (аммиак, сероводород, ацетон и т.п.), а также химические летучие соединения, выделяемые мебелью и отделочными материалами в помещении. В процессе дыхания человека в нормальных условиях изменению концентрации подвержены

в основном два компонента воздуха: кислород и углекислый газ. В ходе метаболических процессов в организме человека концентрация кислорода в выдыхаемом воздухе снижается с 20,9 до 16,3%, а углекислого газа, наоборот, возрастает с 0,03 до 4% [4]. Следует обратить внимание на то обстоятельство, что концентрация углекислого газа возрастает более чем в 100 раз. Специалистами было установлено, что степень концентрации газовых загрязнителей, выделяемых человеком, тесно коррелируют с изменением концентрации углекислого газа, выделяемого при дыхании человека [1, 2]. В этой связи концентрация углекислого газа была принята в качестве индикатора качества воздуха [3]. Другие вредные газовые выделения в помещениях жилых и общественных зданий (фенолформальдегиды, ацетон, аммиак и другие компоненты, выделяемые мебелью, отделочными материалами) приводят к эквивалентам углекислого газа [5]. Загрязнители от мебели и отделочных материалов (в основном формальдегиды и анилина) по отношению к вредностям, выделяемым человеком, носят в основном разнонаправленный характер и ассимилируются воздухообменом, рассчитанным по концентрации CO_2 . Как правило, в отсутствие людей в помещении фоновая кратность воздухообмена $0,1-0,2 \text{ ч}^{-1}$ достаточна для ассимиляции вредностей от мебели и отделочных материалов.

ГОСТ 30494–2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях», разработанный с участием авторов статьи,

предусматривает четыре класса качества воздуха в помещении в зависимости от концентрации углекислого газа:

- 1-й класс (оптимальный микроклимат, высокое качество) – концентрация углекислого газа не более $400 \text{ см}^3/\text{м}^3$;
- 2-й класс (оптимальный микроклимат, среднее качество) – концентрация углекислого газа от 401 до $600 \text{ см}^3/\text{м}^3$;
- 3-й класс (допустимый микроклимат, допустимое качество) – концентрация углекислого газа от 601 до $1000 \text{ см}^3/\text{м}^3$;
- 4-й класс – недопустимо высокая концентрация углекислого газа, низкое качество воздуха – более $1000 \text{ см}^3/\text{м}^3$.

Преимущество данного подхода к определению качества воздуха и необходимого воздухообмена по отношению к традиционному (по удельным расходам воздуха или по кратности воздухообмена) состоит в следующем:

- имеется возможность при определении воздухообмена учитывать степень загрязнения наружного воздуха;
- появляется стимул повысить эффективность вентиляции: обеспечивать подачу свежего воздуха в зону дыхания, не допускать пересечения приточными струями грязных зон в помещении;
- может быть учтено наличие свежего воздуха в помещении перед его заполнением людьми;
- может быть корректно определен фоновый воздухообмен для удаления вредностей от мебели и отделочных материалов в нерабочее время;
- повышается адекватность и точность контроля качества воздуха за счет прямых

ZOTA®

ТВЕРДОТОПЛИВНЫЕ КОТЛЫ

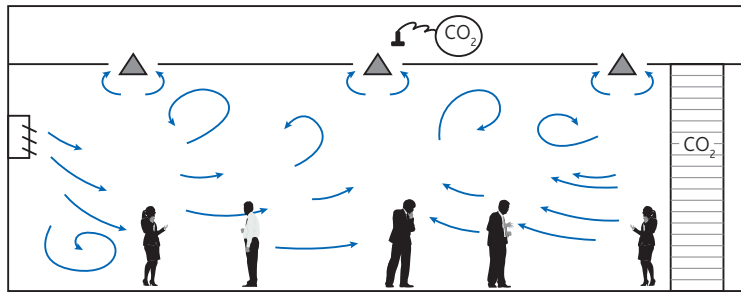


Короли
бюджетта

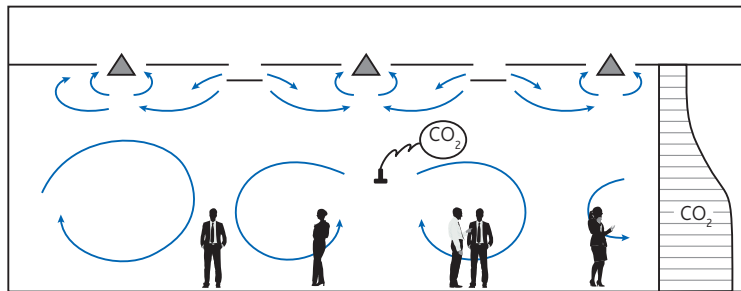
«ЗАВОД ОТОПИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И АВТОМАТИКИ»
Красноярск, ул. Калинина, 53А
(391) 247-77-77, 247-78-88, 247-79-99

www.zota.ru

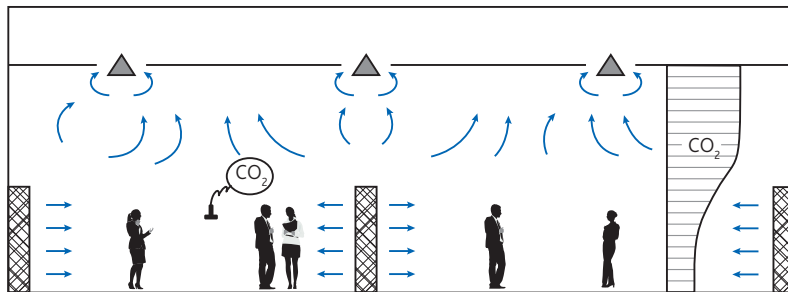




а)



б)



в)

■ Рис. 1. Характер распределения углекислого газа при перемешивающей (а), короткозамкнутой (б) и вытесняющей (в) вентиляции

измерений концентрации углекислого газа в обслуживаемой зоне помещений.

Информацию о концентрации углекислого газа в наружном воздухе предоставляют станции метеонаблюдения. Для справки: среднегодовые примерные значения концентрации углекислого газа согласно [3] составляют:

- сельская местность – $350 \text{ см}^3/\text{м}^3$;
- малые города – $375 \text{ см}^3/\text{м}^3$;
- загрязненный центр большого города – $400 \text{ см}^3/\text{м}^3$.

Величину воздухообмена для наиболее распространенной системы перемешивающей вентиляции определяют по формуле:

$$L = 55 \cdot 10^4 \frac{G}{g_n - g_0}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (1)$$

где G – количество углекислого газа, выделяемое в помещение человеком, г/ч;

g_n и g_0 – концентрация углекислого газа, соответственно нормативная и в наружном воздухе, $\text{см}^3/\text{м}^3$.

Предполагается, что перемешивающая вентиляция равномерно распределяет воздух в помещении и концентрация вредных веществ, в том числе углекислого газа, одинаковая во всех точках помещения (рис. 1а). Как правило, для перемешивающей вентиляции характерна достаточно высокая кратность воздухообмена, не менее 3 ч^{-1} .

К классу перемешивающей вентиляции относятся системы с рециркуляцией воздуха, системы вентиляции, сочетающиеся с вентиляторными доводчиками систем кондиционирования воздуха (сплит-системами и фэнкойлами).

Во многих административных и офисных зданиях для устройства систем воздухообмена используют подшивные потолки, в которые размещают и приточные, и вытяжные устройства. Как правило, кратность воздухообмена в традиционных решениях в этом случае не превышает $1,0\text{--}1,5 \text{ ч}^{-1}$.

В ряде случаев при изотермической вентиляции или при небольшом перегреве приточного воздуха значительная часть свежего воздуха по короткой траектории засасывается в вытяжные решетки, образуя так называемую короткозамкнутую циркуляцию (рис. 1б). В этом случае углекислый газ, выдыхаемый людьми, накапливается в обслуживаемой зоне, и его концентрация значительно выше, чем в удаляемом воздухе. Это пример неэффективной организации вентиляции.

Надо отметить, что молекулярный вес углекислого газа более чем в 1,5 раза больше, чем у воздуха, и поэтому при слабой циркуляции он может

Таблица

Коэффициенты эффективности воздухораспределения

Системы вентиляции	Коэффициент эффективности воздухораспределения
Системы перемешивающей вентиляции с кратностью воздухообмена более $2,5 \text{ ч}^{-1}$, в том числе с рециркуляцией, со сплит-системами и фэнкойлами	1,0
Изотермические системы вентиляции или системы вентиляции, совмещенные с воздушным отоплением со схемой воздухораспределения «сверху вверх» с кратностью воздухообмена не более $1,5 \text{ ч}^{-1}$	1,1–1,3
Системы вытесняющей вентиляции (displacement ventilation)	0,6–0,8
Системы персональной вентиляции с подачей приточного воздуха в зону дыхания	0,3–0,5

накапливаться в нижней зоне помещений.

Примером эффективной вентиляции может служить вытесняющая вентиляция (displacement ventilation). Свежий приточный воздух с малыми скоростями из воздухораспределителей с большой поверхностью подается в обслуживаемую зону, как бы равномерно затопливая ее. Загрязненный воздух вместе с конвективными потоками от людей, оргтехники и оборудования вытесняется в верхнюю зону и удаляется из помещения (рис. 1в). В этом случае концентрация углекислого газа в обслуживаемой зоне может быть меньше, чем в удаляемом воздухе.

Формально во всех трех случаях (рис. 1) при традиционном подходе к проектированию может быть принят одинаковый

воздухообмен, но фактически качество воздуха будет существенно отличаться.

Необходимое количество воздуха для вентиляции помещений следует определять согласно [2] с учетом коэффициента эффективности воздухораспределения (η):

$$L = \eta L_6, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (2)$$

где L_6 – базовое количество наружного воздуха по действующим нормам, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Величина коэффициента эффективности воздухораспределения приведена в таблице.

Так, при нормативе концентрации углекислого газа в $800 \text{ см}^3/\text{м}^3$ и его концентрации в наружном воздухе $400 \text{ см}^3/\text{м}^3$ для рабочего места в административном здании при выделении от человека углекислого газа 45 г/ч (принято согласно [6] для

взрослых людей при выполнении умственной работы) по формуле (1) можно определить расход наружного воздуха в системе вентиляции: $L = 61,875 \text{ м}^3/\text{ч} \sim 60 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Именно такое количество воздуха должна подать в помещение на одно рабочее место система перемешивающей вентиляции. Короткозамкнутой системе потребуется с учетом таблицы уже $66\text{--}78 \text{ м}^3/\text{ч}$, вытесняющая вентиляция позволит снизить воздухообмен до $36\text{--}48 \text{ м}^3/\text{ч}$, а персональная вентиляция – до $18\text{--}30 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Другими словами, при одинаковом качестве воздуха различие в воздухообмене, а соответственно, и в энергетических затратах (транспортировка воздуха по воздуховодам, нагрев, охлаждение) может составлять $1,5\text{--}2,0$ раза.

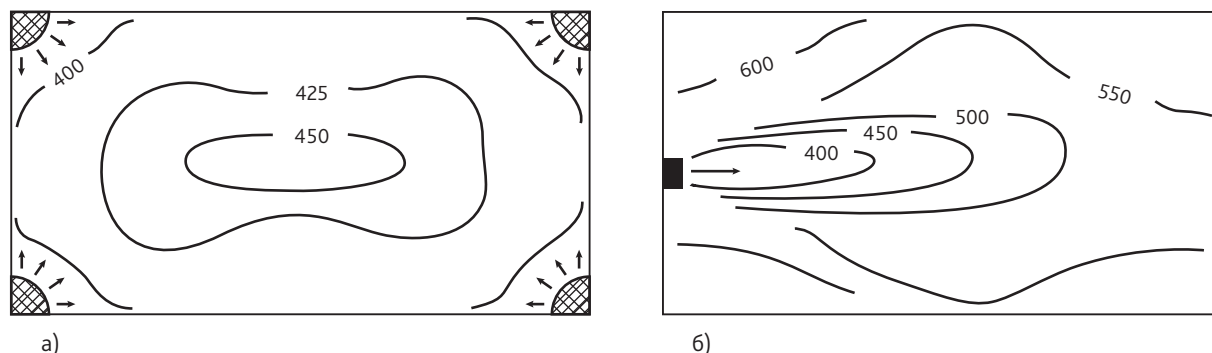
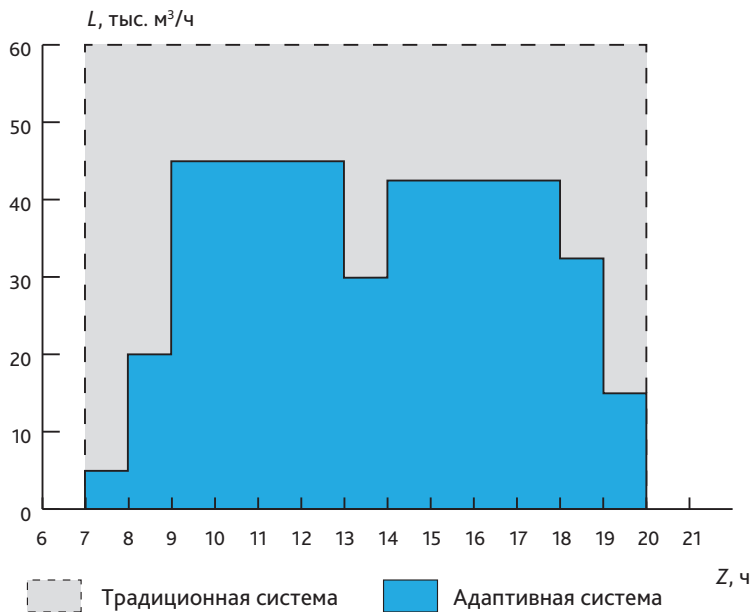


Рис. 2. Линии равных концентраций углекислого газа в плане помещения при вытесняющей вентиляции (а) и в струе приточного воздуха (б)



■ Рис. 3. График работы системы вентиляции

Распределение полей концентрации углекислого газа в объеме помещений может быть рассчитано достаточно точно, но в большинстве случаев задачи моделирования воздушно-теплого режима помещений выполняются только для уникальных объектов [7]. На рис. 2 приведены примерные картины распределения концентрации углекислого газа при вытесняющей вентиляции (а) и в зоне действия приточной струи воздуха (б).

Эффективность систем вентиляции можно еще характеризовать временем жизни свежего воздуха – промежутком времени от момента истечения свежего воздуха из воздухораспределителя до момента попадания в зону дыхания. В системах персональной вентиляции эта величина составляет менее 1 с, в вытесняющих системах до 20–30 с, а в короткозамкнутых системах до 10 мин. Таким образом, эффективность системы воздухораспределения, или время

жизни свежего воздуха, можно считать **первым критерием адаптивности систем вентиляции**.

Вторым критерием адаптивности следует считать соответствие объема выделяющихся вредностей, в данном случае углекислого газа, величине воздухообмена. Традиционные системы вентиляции запроектированы на расчетную наполняемость помещения людьми без возможности регулирования воздухообмена.

Так, например, если расчетная численность персонала в офисе 1 000 чел., это означает, что система постоянно подает и удаляет 60 тыс. м³/ч воздуха. Вместе с тем, с учетом отпусков, болезней, командировок фактическая наполняемость офиса не превышает 70 % от расчетной. Более того, даже при фиксированном режиме работы офиса первые сотрудники приходят на 1–2 ч раньше, а последние уходят на 3–4 ч позже.

Таким образом, традиционная система вентиляции будет работать в расчетном режиме с момента прихода первых сотрудников до ухода последних.

Адаптивная вентиляция – это вентиляция с переменным расходом воздуха, предусматривающая возможность регулирования воздухообмена по отдельным зонам или помещениям здания в зависимости от их фактической заполняемости людьми. Такие системы позволяют соблюдать оптимальный баланс между качеством воздуха и энергетическими затратами, позволяя формировать и поддерживать комфортный микроклимат в помещении, и оказывают положительное влияние на самочувствие людей.

На рис. 3 приведены графики режима работы традиционной системы вентиляции с постоянным воздухообменом и адаптивной в зависимости от наполняемости офиса персоналом. Заштрихованная на графике область характеризует экономию расхода воздуха и энергии в системе адаптивной вентиляции, которая может достигать 40–50%.

Сигналом для регулирования воздухообмена в системе адаптивной вентиляции могут служить значения концентрации углекислого газа, измеряемые специальным датчиком. По сигналу датчика регулирующие заслонки изменяют расход воздуха, поступающего в помещение. Далее сигнал передается на приточную и вытяжную вентиляционные установки, оборудованные частотным приводом для изменения воздухопроизводительности вентиляторов.

Важную роль играет место установки датчика концентрации

углекислого газа. В системе перемешивающей вентиляции датчик может устанавливаться в сборном вытяжном воздуховоде, в других случаях – в обслуживаемой зоне, в зоне дыхания (рис. 1).

Выводы

Индикатором качества воздуха в жилых и общественных зданиях может служить концентрация углекислого газа.

При выборе систем вентиляции важным критерием адаптивности служит время жизни свежего воздуха, или эффективность воздухораспределения. Следует стремиться, чтобы свежий приточный воздух по короткой траектории достигал зоны дыхания, не пересекая при этом грязные зоны с выделением вредных веществ.

Важно обеспечить соответствие расхода приточного

воздуха степени наполняемости помещений людьми. При сохранении высокого качества воздуха с использованием адаптивной вентиляции в зданиях с переменным количеством персонала и посетителей (таких как вокзалы, аэропорты, торговые комплексы, спортивные и развлекательные объекты, офисы) может быть достигнута экономия энергии по отношению к традиционным системам вентиляции в 30–50%.

Литература

1. Гурина И.В. Безопасный уровень углекислого газа требует ревизии // Экологический вестник России. 2008. № 10.
2. Шилькрот Е.О., Губернский Ю.Д. Сколько воздуха нужно человеку для комфорта? // АВОК. 2008. № 4.
3. ГОСТ 30494–2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях».
4. Уэст Дж. Физиология дыхания. Основы. М., 1988.
5. EN 13779:2007. Ventilation for non-residential buildings – Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems.
6. Богословский В.Н., Новожилов В.И., Симаков Б.Д., Титов В.П. Отопление и вентиляция. Учебник для вузов. В 2-х ч. Ч. 2. Вентиляция. Под ред. В.Н. Богословского. М.: Стройиздат, 1976.
7. Горбунов В.А. Моделирование теплообмена в конечно-элементном пакете Femlab. Иваново, 2008.
8. Системы адаптивной вентиляции: перспективные направления развития // АВОК. 2011. № 7. ■

NEPTUN

INTELLECTUAL
WATER SYSTEMS

(495) 728-80-80
neptun-iws.ru

ГИБКОСТЬ ИНЖЕНЕРНЫХ РЕШЕНИЙ

Гофрированная труба из нержавеющей стали российского производства



Пожаротушение



Водоснабжение



Подвод газа



Отопление



Реклама