УДК 697.957

© В. Р. Таурит, д-р техн. наук, профессор
© А. Н. Колосницын, старший преподаватель
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург, Россия)
E-mail: taurit_v_r@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-6-121-127

© V. R. Taurit, Dr. Sci. Tech., Professor
© A. N. Kolosnitsyn, senior teacher
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering,
St. Petersburg, Russia)
E-mail: taurit_v_r@mail.ru

К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ОРГАНИЗАЦИИ ВОЗДУХООБМЕНА В ПОМЕЩЕНИЯХ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЗДОРОВЬЯ ЛЮДЕЙ ОТ ГАЗООБРАЗНЫХ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ

ABOUT THE SOLUTION OF THE PROBLEM OF ORGANIZING THE AIR EXCHANGE IN THE PREMISES OF PUBLIC BUILDINGS IN ORDER TO PROTECT HUMAN HEALTH FROM HARMFUL GASEOUS SUBSTANCES

Статья посвящена оценке эффективности применения перспективного решения с целью изоляции людей в помещениях (в положении сидя или стоя) от воздействия вредных химических элементов, индикаторами которых является углекислый газ. При этом обеспечиваются высокое качество воздуха в обитаемой зоне и защита здоровья людей.

Ключевые слова: углекислый газ, наружный воздух, люди, помещение, зал, вредности, скорость, индикатор, качество, комфорт.

The article is devoted to evaluation of application effectiveness of perspective solution in order to provide good air quality to people who have to stay indoors (in sitting or standing position) saving them from exposure to harmful chemical elements, indicators of which is carbon dioxide. This ensures high air quality in the inhabited area and protects human health.

Keywords: carbon dioxide, outdoor air, people, premise, hall, harm, rate, indicator, quality, comfort.

Представленные материалы статьи посвящены решению проблемы XXI века [1] по обеспечению качественного микроклимата в местах длительного или массового пребывания людей в помещениях общественного здания.

При прямом использовании природного свежего воздуха обеспечивается качество воздуха, входящего в помещение. В этом случае основной задачей по охране здоровья людей является обеспечение температурных условий, то есть теплового комфорта, и снижение концентрации газообразных вредных продуктов дыхания людей и в первую очередь углекислого газа.

Понятие комфортности составляют метеорологические параметры, регулирующие теплообмен человека с окружающей средой [2].

Из числа продуктов жизнедеятельности, содержащихся в выдыхаемом воздухе, наиболь-

шее влияние на здоровье, по мнению врачей-гигиенистов, имеет углекислый газ (CO_2). Дело в том, что, несмотря на низкую концентрацию CO_2 при вдыхании чистого наружного воздуха (0,03 % по объему, что составляет 350 ppm), его содержание в выдыхаемом воздухе возрастает в 100 раз. При этом установлено, что соответственно изменяется качественно и количественно содержание других химических соединений в выдыхаемом воздухе [3]. Последние, воздействуя на биохимические процессы в организме, могут вызывать у человека ранее неизвестные заболевания. Так как концентрацию CO_2 в воздухе можно измерять достаточно точно, ее значение в исследованиях служит индикатором качества воздуха.

Известными зарубежными учеными врачами-гигиенистами [3–6] в результате детальных исследований установлено, что углекислый газ ток-

сичен для человека даже в относительно низких концентрациях. Наилучшей для здоровья человека в помещении является концентрация углекислого газа, близкая таковой в чистом природном воздухе (350–450 ppm).

Для снижения концентрации углекислого газа, поступающего в помещение от людей в процессе дыхания, в настоящее время предлагается два решения.

В мировой практике традиционным вариантом является устройство на входе свежего воздуха в помещение специальных воздухо-распределителей, обеспечивающих снижение концентрации CO_2 за счет эффекта локального перемешивания воздуха в объемах с различными скоростями и концентрациями углекислого газа (перемешивающая вентиляция). При этом в помещении обеспечивается посредственное качество воздуха с превышением до семи раз содержания CO_2 в атмосферном воздухе [2].

Более прогрессивным решением является создание вокруг тела человека восходящего потока за счет тепlopоступлений с поверхности одежды, с последующим отводом теплоты дыхания с высокой концентрацией CO_2 в верхнюю зону помещения (вытесняющая вентиляция).

При традиционном способе реализации вытесняющей вентиляции воздух раздается через ряд низких панелей специальной конструкции, встроенных в стену, формирующих у пола равномерный плоский поток (высотой 20 см) с повышенной начальной скоростью и температурой несколько ниже нормируемой для обитаемой зоны. По данным исследования ученых [7], реализация такого решения с повышенным темпом затухания прохладного потока у пола нарушает требования по обеспечению теплового комфорта и высокого качества воздуха по CO_2 , особенно по мере увеличения высоты обитаемой зоны. Подтверждена возможность реализации такого принципа подачи природного воздуха только для небольших помещений, ограничивающих расход подаваемого воздуха.

Для решения современной проблемы полной изоляции человека от химических опасных для здоровья соединений, содержащихся в выдыхаемом воздухе, численным методом проверена перспективная идея обеспечения качества и комфорта в крупногабаритных помещениях. Для

этого в СПбГАСУ [2] было разработано простое, но эффективное устройство (рис. 1), позволяющее подавать значительные или даже большие объемы наружного воздуха с равномерным распределением и с требуемыми низкими скоростями у поверхности пола. Полученные результаты расчетов обобщены и позволяют использовать их при проектировании.

Для проверки стабильности работы вытесняющей вентиляции нового поколения интересны помещения общественных зданий, в которых большое количество людей работает в положении сидя, практически непрерывно, при плотном расположении столов, например в компьютерных залах. К числу особенностей, которые могут влиять на конечный результат доведения концентрации CO_2 в обитаемой зоне до состояния чистого природного воздуха, относятся: снижение высоты зоны обитания до 1,5 м, нарушение структуры потока воздуха, поступающего в нижнюю зону помещения, как следствие установки служебных столов и компьютерной техники.

В статье приводятся сведения по формированию поля концентрации CO_2 и основных метеорологических параметров воздуха в зоне пребывания людей, полученных в результате применения численного метода исследования эффективности нового способа затопления зала наружным воздухом, имеющего нормируемую температуру помещения. В зале (рис. 2) высотой 4 м и площадью 87 м² (14,5 × 6 м) установлены 34 рабочих стола 1 (1,5 × 0,75 м), оборудованных компьютерами 2 с мониторами 3. Предлагаемая идея устройства нетрадиционной вентиляции предусматривает образование плоского потока природного воздуха (рис. 3, а), истекающего в зал на расчетной высоте h от пола. Восходящие потоки теплого воздуха, содержащие CO_2 , предусматривается удалять искусственным путем через потолочные вытяжные решетки 2.

Численное решение математической модели получено на базе системы дифференциальных уравнений неразрывности, движения Навье — Стокса в осреднении Рейнольдса, энергии и переноса вещества [2, 10]. Краевые условия уточнены в связи с изменением условий движения приточного воздуха в нижней зоне компьютерного зала.

Параметры, влияющие на степень комфорта людей и на качество воздуха, определялись одно-

Рис. 1. Поля температуры (а) и концентрации CO₂ (г/кг) (б) в крупногабаритном помещении при расположении 36 чел. в помещении стоя: 1 — тонкостенная перегородка; 2 — плоский поток; 3 — приточный проем

Рис. 2. Модель компьютерного зала на 34 стола: 1 — стол; 2 — компьютер; 3 — монитор

временно, в одном режиме подаваемого воздуха. Рис. 3, а иллюстрирует динамику образования плоского воздушного потока и дальнейшее его развитие по длине зала. Максимальные скорости образуются в нижней части приточного проема 1 как результат изменения направления движения. При дальнейшем развитии потока в горизонтальном направлении его скорость снижается до 0,2 м/с с сохранением температуры и воздушных струй, образующихся при движении снизу вверх у поверхности тела человека (рис. 3, б). Следует

также отметить формирование равномерного поля скорости по ширине истекающего в зал потока и стабильный характер движения воздуха и распределения скоростей в зале, несмотря на устройство в подобных помещениях проходов для людей.

Температура подаваемого свежего воздуха в сочетании с его скоростью способствуют созданию комфортных условий в зале. При заполнении зала свежим воздухом его начальная температура в приточном проеме должна соответствовать

Рис. 3. Поля скорости при движении плоского потока воздуха: а — через приточный проем и вдоль зала; б — по ширине зала; 1 — приточный проем; 2 — вытяжные решетки

нижнему нормативному пределу внутреннего воздуха. При дальнейшем движении плоского потока вдоль зала разность температур по высоте от пола до уровня стола не превышает $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ до середины длины зала и $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ в последующих рядах (рис. 4). Таким образом, перепад температур по высоте для каждого человека не превышает $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Следует также отметить, что в восходящих потоках теплого воздуха в зоне дыхания температура может достигать $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 4, б).

Углекислый газ как индикатор других многочисленных химических элементов (до 100), влияющих на здоровье человека, должен поступать в зал с наименьшей его концентрацией в наружном воздухе ($0,45\text{--}0,5\text{ г/кг}$). Осредненное значение рекомендуется 400 ppm , для больших городов — 500 ppm [8]. Если по мере заполнения пространства зала концентрация CO_2 не изменялась, то это означает, что все газообразные вредные вещества ушли из зоны дыхания с конвективными потоками в верхнюю зону (рис. 5).

Рис. 4. Поля температуры: а — в продольном сечении зала; б — по ширине зала; 1 — восходящие потоки теплого воздуха из зоны дыхания (над головой)

Рис. 5. Поля углекислого газа (CO_2): а — в продольном сечении зала; б — по ширине зала; 1 — конвективные потоки углекислого газа (индикатор вредных химических элементов)

Подобные положительные результаты по качеству внутреннего воздуха были получены в помещениях и при скоплении людей в положении стоя [9], несмотря на увеличение высоты зоны обитания и отличия в структуре расположения людей.

Предварительно установлено, что в режиме выделения явной теплоты от компьютеров качество воздуха в зале не ухудшается, так как углекислый газ отводится из зоны дыхания теплыми восходящими от людей потоками воздуха (рис. 5, б).

Выводы

Результаты расчета, полученные численным методом, подтверждают возможность и эффективность использования свежего наружного воздуха для затопления им зоны обитания помещений, заполненных людьми (в положениях сидя или стоя).

Доказано также, что углекислый газ и сопутствующие вредные химические элементы, влияющие на здоровье, полностью отводятся из зоны дыхания восходящими потоками от человека. При этом обеспечиваются комфортные условия и высокое качество внутреннего воздуха.

Библиографический список

1. Фангер О. П. Качество внутреннего воздуха в XXI веке: влияние на комфорт, производительность и здоровье людей // АВОК. 2003. № 4. С. 12–22.
2. Таурит В. Р., Кorableва Н. А. Обеспечение высокого качества воздуха и комфорта в зоне массового пребывания людей в помещении при нетрадиционной вытесняющей вентиляции // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 3 (50). С. 211–218.
3. Квашинин И. М., Гуринов И. И. К вопросу о нормировании воздухообмена по содержанию CO₂ в наружном и внутреннем воздухе // АВОК. 2008. № 5. С. 34–42.
4. Robertson D. S. Health effects of increase in concentration of carbon dioxide in the atmosphere // Current science. 2006. June 25th. Vol. 90. № 12. Pp. 1607–1609.
5. Robertson D. S. The rise in the atmospheric concentration of carbon dioxide and the effects on human health // Med. Hypotheses. 2001. Vol. 56 (4). Pp. 513–518.
6. Seppanen O. Энергоэффективные системы вентиляции для обеспечения качественного микроклимата помещений // АВОК. 2000. № 5. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=60.
7. Скустед Х. (ред.) и др. Вытесняющая вентиляция в непроизводственных зданиях. 2-е изд., испр. / пер. с англ. Л. И. Баранова. М.: АВОК-Пресс, 2006. 98 с.
8. Губернский Ю. Д., Шилькрот Е. О. Сколько воздуха нужно человеку для комфорта? // АВОК. 2008. № 4. С. 4–12.
9. Таурит В. Р., Кorableва Н. А. Выбор параметров для расчета вытесняющей вентиляции нового поколения с высоким качеством воздуха в зоне пребывания людей // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 3 (62). С. 166–170.
10. Гримитлин А. М., Дацюк Т. А., Денисикхина Д. М. Математическое моделирование в проектировании систем вентиляции и кондиционирования. СПб.: АВОК Северо-Запад, 2013. 192 с.

References

1. Fanger O. P. *Kachestvo vnutrennego vozdukha v XXIveke: vliyaniye na komfort, proizvoditel'nost' i zdorov'e lyudey* [Indoor air quality in the XXI century: impact on

comfort, productivity and human health]. AVOK, 2003, no. 4, pp. 12–22.

2. Taurit V. R., Korableva N. A. *Obespecheniye vysokogo kachestva vozdukha i komforta v zone massovogo prebyvaniya lyudey v pomeshchenii pri netraditsionnoy vytesnyayushchey ventilyatsii* [Air of high quality and comfort provision in the places of mass gathering of people in premises with non-conventional displacement ventilation]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2015, no. 3 (50), pp. 211–218.

3. Kvashnin I. M., Gurin I. I. *K voprosu o normirovanii vozdukhooobmena po soderzhaniyu CO₂ v naruzhnom i vnutrennem vozdukh*e [On the issue of rationing of air exchange in terms of CO₂ content in outdoor and indoor air]. AVOK, 2008, no. 5, pp. 34–42.

4. Robertson D. S. Health effects of increase in concentration of carbon dioxide in the atmosphere. *Current science*, 2006, June 25-th., vol. 90, no. 12, pp. 1607–1609.

5. Robertson D. S. The rise in the atmospheric concentration of carbon dioxide and the effects on human health. *Med. Hypotheses*, 2001, vol. 56 (4), pp. 513–518.

6. Seppanen O. *Energoeffektivnye sistemy ventilyatsii dlya obespecheniya kachestvennogo mikroklimata pomeshcheniy* [Energy-efficient ventilation systems for indoor climate quality]. AVOK, 2000, no. 5. Available at: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=60

7. Skisted Kh. (ed.), et al. *Vytesnyayushchaya ventilyatsiya v neproizvodstvennykh zdaniyakh* [Displacement ventilation in non-production buildings]. 2-nd ed., revised. Transl. from English by Baranova L. I. Moscow, AVOK-Press Publ., 2006, 98 p.

8. Gubernskiy Yu. D., Shil'krot E. O. *Skol'ko vozdukha nuzhno cheloveku dlya komforta?* [How much air does a person need to feel comfortable?]. AVOK, 2008, no. 4, pp. 4–12.

9. Taurit V. R., Korableva N. A. *Vybor parametrov dlya rascheta vytesnyayushchey ventilyatsii novogo pokoleniya s vysokim kachestvom vozdukha v zone prebyvaniya lyudey* [Selecting parameters for calculating displacement ventilation of the new generation with a high quality air in the habitable zone]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2017, no. 3 (62), pp. 166–170.

10. Grimitlin A. M., Datsyuk T. A., Denisikhina D. M. *Matematicheskoe modelirovaniye v proektirovanii sistem ventilyatsii i konditsionirovaniya* [Mathematical modeling in the design of ventilation and air conditioning systems]. St. Petersburg, AVOK Severo-Zapad Publ., 2013, 192 p.