УДК 697.957

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

DOI 10.23968/1999-5571-2017-14-3-166-170

© V. R. Taurit, Dr. Sci. Tech., Professor
© N. A. Korableva, post-graduate student
(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)
E-mail: taurit_v_r@mail.ru

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ РАСЧЕТА ВЫТЕСНЯЮЩЕЙ ВЕНТИЛЯЦИИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ С ВЫСОКИМ КАЧЕСТВОМ ВОЗДУХА В ЗОНЕ ПРЕБЫВАНИЯ ЛЮДЕЙ

SELECTING PARAMETERS FOR CALCULATING DISPLACEMENT VENTILATION OF THE NEW GENERATION WITH A HIGH QUALITY AIR IN THE HABITABLE ZONE

Для предлагаемого авторами решения вытесняющей вентиляции установлены расчетные обобщающие параметры, характеризующие качество воздуха в нижней зоне помещения с динамично изменяющимися тепловыми нагрузками от пребывания людей. Представлены закономерности распределения концентрации CO_2 в помещении, подтверждающие заполнение зоны обитания чистым наружным воздухом.

Ключевые слова: вытесняющая вентиляция, зона затопления, температура, концентрация CO_2 , режимные параметры.

For the solution of the forcing-out ventilation proposed by authors, there are set calculation generalizing parameters characterizing the quality of air in the lower zone of the premise with dynamically changing thermal loadings due to the people staying in the premise. The regularities of distribution of CO_2 concentration in the premise confirming the degree of filling the habitable zone with clean external air are presented.

Keywords: displacement ventilation, flooding zone, temperature, CO_2 concentration, operating parameters.

Материалы статьи развивают результаты авторских исследований [1, 2] по оценке эффективности предлагаемой вентиляции нового поколения, предназначенной для снижения содержания CO_2 в зоне стабильного пребывания людей до концентрации в наружном воздухе.

При санитарно-гигиенической оценке состояния внутреннего воздуха углекислый газ в настоящее время используется в качестве индикатора других вредных химических соединений, которые содержатся в продуктах дыхания человека и могут вызывать тяжелые заболевания [3]. Поэтому концентрация CO_2 является показателем качества внутреннего воздуха. В текущем столетии поставлена задача довести качество внутреннего воздуха до состояния чистого природного [4].

При реализации вытесняющей вентиляции практический интерес представляют помещения, в которых нарастают концентрации CO_2

по времени. Это могут быть помещения различного назначения, имеющие как средние размеры (например, офисы), так и крупногабаритные, с массовым скоплением людей. С учетом многофакторности эксперимента и сложности изучаемых процессов вентиляции в помещении, принята математическая модель численного исследования аэродинамических и теплофизических процессов, как наиболее корректная и доступная [2, 5]. Решение системы дифференциальных уравнений было получено с помощью гидродинамического комплекса STAR CD-CCM+, с применением стандартной $k-\xi$ модели учета турбулентности движения и пристенных функций. Распределение концентрации CO_2 в воздухе вентилируемого помещения изучалось совместно с формированием полей скорости и температуры, с доведением процессов до установившегося состояния.

В качестве объекта исследования принято общественное помещение, максимальные раз-

меры которого составили $L = 20$ м, $B = 15$ м, $H = 4$ м (координаты z, x, y). Исследования проводились в широком диапазоне удельных тепловыделений ($q_F = 4 \dots 20$ Вт/м² пола) и числа источников n поступления явной теплоты от людей ($n = 9 \dots 54$ чел.), что также предполагает изменения месторасположения людей в помещении. Помещение оборудовано вытесняющей вентиляцией по предлагаемому способу затопления обитаемой зоны свежим воздухом (рис. 1).

Для изучения влияния начальных условий истечения вентиляционного наружного воздуха на температуру и содержание CO_2 в обитаемой зоне проведены специальные исследования. Скалярные поля исследуемых параметров, полученные численным методом, позволили качественно и количественно оценить характер взаимодействия потоков холодного природного воздуха и воздуха в помещении, загрязненного продуктами дыхания.

Вариант с незначительным внедрением теплого воздуха в зону истечения чистого воздуха

из приточного проема иллюстрирует рис. 1, а. Обобщение и анализ результатов исследования показали, что подобное локальное утепление может иметь место при снижении удельных значений расходов приточного воздуха V_F ниже $27 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^2 \text{ пола})$ и при тепловой нагрузке q_V более $0,6$ Вт на $1 \text{ м}^3/\text{ч}$ воздуха.

Экспериментальные кривые распределения температуры и CO_2 на расстояниях $x \leq 1,7$ м от приточного проема иллюстрирует рис. 2.

Подтверждается, что в нижней зоне помещения, затопленной чистым воздухом, до высоты $1,5$ м наблюдается незначительное плавное изменение температуры, которая повышается не более чем на $0,5$ °С. Выше двухметровой отметки зоны обитания наблюдается более выраженное повышение температуры воздуха — до 2 °С и более у потолка. Однако локальное внедрение теплого воздуха в зону истечения чистого воздуха практически не влияет на его качество. Так, при содержании CO_2 в наружном воздухе городов,

Рис. 1. Поля температур в плоскости расположения людей при $q = 16$ Вт/м² пола: а — $B = 10$ м, $n = 36$ чел.; б — $B = 15$ м, $n = 54$ чел.; 1 — тонкостенная перегородка; 2 — плоский поток; 3 — приточный проем

равном $0,61 \text{ г/кг}$ ($6,1 \cdot 10^{-4} \text{ кг/кг}$), его концентрации в зоне затопления, где $x \leq 1 \text{ м}$, $y \leq 1,7 \text{ м}$, составляют $0,61\text{--}0,65 \text{ г/кг}$ (рис. 2, б).

Установлено влияние изменения динамической тепловой нагрузки в помещении, вызванной пребыванием людей, на качество воздуха в оби-

таемой зоне при реализации вытесняющей вентиляции по новому способу. В рассматриваемом случае обобщающими режимными параметрами, влияющими на эффективность вентиляции, являются удельные тепловые нагрузки, Вт: на 1 м^2 поверхности пола (q_F) и на $1 \text{ м}^3/\text{ч}$ подавае-

Рис. 2. Распределение температуры (а) и концентрации углекислого газа χ , кг/кг (б) по высоте помещения y на расстоянии $x \leq 1 \text{ м}$ от приточного проема 3 при $B = 10 \text{ м}$

мого наружного воздуха (q_v), (см. таблицу). Отношение q_F/q_v устанавливает удельную нагрузку воздуха V_F , м³/ч на 1 м² пола.

Кривые изменения концентрации CO₂ по высоте помещения, полученные численным методом, наглядно иллюстрирует рис. 3.

Из этих данных следует, что при плоском потоке, истекающем в нижнюю зону помещения, вся обитаемая зона заполняется свежим воздухом, в котором концентрация CO₂ на уровне дыхания (1,7 м) составляет 0,61...0,65 г/кг, что практически соответствует состоянию наружного воздуха. При этом более низким значениям параметров q_v и q_F соответствуют и более низкие значения концентрации CO₂, приближающиеся к природному воздуху (0,61 г/кг). При увеличении тепловой нагрузки до значений $q_v = 0,59$ Вт · ч/м³ и $q_F = 20,2$ Вт/м² (см. таблицу) наблюдается

незначительное повышение концентрации CO₂, которая с увеличением расстояния от пола до отметки 2 м может достигать 0,7 г/кг. Эти результаты подтверждают также правильность выбранных параметров q_F и q_v для оценки их влияния на поле концентраций CO₂.

При увеличении ширины помещения, то есть расстояния от места истечения потока до противоположного ограждения, характер распределения значений концентрации CO₂ по высоте обитаемой зоны фактически остается неизменным (см. рис. 3), если наблюдается равенство значений q_F и q_v . Например, при $x = 10$ м и $x = 15$ м, когда соответственно $q_v = 0,47$ Вт · ч/м³, а значения $q_F = 16,2$ Вт/м² (см. таблицу).

Важным результатом представленных выше исследований является вывод о том, что по мере увеличения расстояния x , м, равенстве $q_F = q_v$

Оптимальные расчетные параметры вентиляции

Удельные тепловые нагрузки	Кол-во человек n				
	9	18	36	45	54*
q_v , Вт · ч/м ³	0,12	0,23	0,47	0,59	0,47
q_F , Вт/м ²	4,1	8,1	16,2	20,2	16,2

Данные представлены при значениях $B = 10$ м и 15 м (*).

Рис. 3. Распределение концентрации углекислого газа χ , г/кг, по высоте помещения на расстоянии x от приточного проема при $B = 10$ м и $B = 1$ м

и идентичности начальных условий на истечение потока постепенно уменьшается и исчезает локальное утепление приточного воздуха в пределах $x < 1,0$ м, $y < 1,5$ м (рис. 1, б и рис. 2, а). При этом стабилизируются концентрации CO_2 по высоте обитаемой зоны, а их профили становятся подобными (см. рис. 3). На расстояниях $x > 7$ м вся область обитаемой зоны заполняется чистым воздухом, в котором концентрация CO_2 полностью соответствует таковой в наружном воздухе (0,61 г/кг).

Дальнейшие исследования будут направлены на обобщение полученных результатов и на выявление возможностей предлагаемой вентиляции с целью применения в холодный период года.

Выводы

Для предлагаемой вытесняющей вентиляции нового поколения установлены:

- характерные обобщающие параметры для расчета вентиляции и их сочетания, позволяющие количественно и качественно оценить распределение температуры и концентрации CO_2 в помещении с динамично изменяющимися тепловыми нагрузками от пребывания людей;
- закономерности распределения концентрации углекислого газа в обитаемой зоне и по высоте помещения при изменении режимных параметров и определяющего размера помещения.

Библиографический список

1. 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.
2. Таурит В. Р., Кorableва Н. А. Численное исследование соответствия концентрации CO_2 в зоне пребывания людей природному воздуху при оборудовании помещения вытесняющей вентиляцией нового поколения // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 2 (55). С. 158–162.

3. Квашинин И. М., Гурин И. И. К вопросу о нормировании воздухообмена по содержанию CO_2 в наружном и внутреннем воздухе // АВОК. 2008. № 5. С. 34–42.

4. Фангер Оле П. Качество внутреннего воздуха в XXI веке: влияние на комфорт, производительность и здоровье людей // АВОК. 2003. № 4. С. 12–22.

5. Гримитлин А. М., Дацюк Т. А., Денисихина Д. М. Математическое моделирование в проектировании систем вентиляции и кондиционирования. СПб.: АВОК Северо-Запад, 2013. 192 с.

References

1. Taurit V. R., Korableva N. A. *Obespechenie vysokogo kachestva vozdukhа i komfortа v zone massovogo prebyvaniya lyudey v pomeshchenii pri netraditsionnoy vytesnyayushchey ventilyatsii* [Air high quality and comfort provision in the places of mass gathering of people in premises with nonconventional displacement ventilation]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2015, no. 3 (50), pp. 211–218.
2. Taurit V. R., Korableva N. A. *Chislennoe issledovanie sootvetstviya kontsentratsii CO_2 v zone prebyvaniya lyudey prirodnomu vozdukhу pri oborudovanii pomeshcheniya vytesnyayushchey ventilyatsiei novogo pokoleniya* [Numerical research of the conformity of CO_2 concentration in the habitable zone with outdoor air when premises are equipped with displacement ventilation of a new generation]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2016, no. 2 (55), pp. 158–162.
3. Kvashnin I. M., Gurin I. I. *K voprosu o normirovaniі vozdukhоobmena po soderzhaniyu CO_2 v naruzhnom i vnutrennem vozdukhе* [To the issue of rationing the air exchange depending on the CO_2 content in external and internal air]. *AVOK*, 2008, no. 5, pp. 34–42.
4. Fanger Ole P. *Kachestvo vnutrennego vozdukhа v XXI veke: vliyanie na komfort, proizvoditel'nost' i zdorov'e lyudey* [The quality of internal air in the XXI century: its influence on comfort, productivity and health of people]. *AVOK*, 2003, no. 4, pp. 12–22.
5. Gritmitlin A. M., Datsyuk T. A., Denisikhina D. M. *Matematicheskoe modelirovanie v proektirovanii sistem ventilyatsii i konditsionirovaniya* [Mathematical modeling in design of ventilation and conditioning systems]. St. Petersburg, AVOK, 2013, 192 p.