

УДК 697.9

Комплексная оценка эффективности систем кондиционирования воздуха в помещениях жилых зданий

Д-р техн. наук А. В. ЦЫГАНКОВ, А. С. БЕЛОГЛАЗОВА (ФОНЯКОВА)

Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий
191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

Article proposed a generalized measure of air quality in residential premises, taking into account the parameters of microclimate, air and energy efficiency ratio of air-conditioning system.

Key words: parameters of microclimate, air exchange, energy efficiency, the objective function, a multiplicative, additive criterion.

Ключевые слова: параметры микроклимата, воздухообмен, энергетическая эффективность, целевая функция, мультиплексиативный, аддитивный критерий.

Повышение стоимости энергии, потребляемой инженерными системами зданий, и рост требований к воздушно-тепловому комфорту помещений приводят к необходимости оптимизации проектных решений систем кондиционирования и вентиляции воздуха. Одним из этапов формирования оптимизационной задачи является выбор критериев, позволяющих оценивать варианты технического решения. Для систем кондиционирования воздуха эти критерии должны включать санитарно-гигиенические требования к качеству воздуха, требования к микроклимату в помещениях и энергетические затраты на кондиционирование и вентиляцию.

Считается общепризнанным, что люди являются главным источником загрязнения воздуха в жилых помещениях. К химическим выделениям человека относится углекислый газ, пары воды и до 400 различных химических веществ в количествах, трудно измеряемых даже с использованием современных средств измерения.

В помещениях, где газовый состав изменяется главным образом в результате жизнедеятельности людей, критерием санитарного состояния воздуха служит содержание в нем углекислоты. Допустимые значения концентрации углекислого газа [1] приведены в табл. 1.

Во многих помещениях значимыми источниками загрязнения воздушной среды, помимо людей, являются строительные материалы, мебель, ковры, электронное оборудование. Кроме того, сами системы отопления, вентиляции и кондиционирования являются загрязнителями [2, 3, 4].

К загрязняющим веществам, влияющим на самочувствие людей, относятся продукты сгорания органических и неорганических веществ (окись углерода, оксиды азота, оксиды серы, формальдегиды и др.), пыль, биологические загрязнители (плесень, пылевые клещи, легионеллы, биоэнфлюенсы и др.). Перечень наиболее гигиенически значимых загрязнителей и их предельно

допустимых концентраций представлен в санитарно-эпидемиологических требованиях к жилым зданиям и помещениям [5]. Обеспечение требуемого качества воздуха достигается ассимиляцией вредностей приточным воздухом и дальнейшим его удалением из помещения. Очевидно, что ассимиляция вредностей зависит не только от расхода приточного воздуха, но и от организации воздушных потоков в помещении. Обобщенной характеристикой качества воздуха и эффективности вентиляции является кратность воздухообмена.

Рекомендации по выбору норм воздухообмена для жилых и общественных зданий приведены в [6]. В табл. 2 представлены нормы удельного воздухообмена в $\text{м}^3/\text{ч}$ на человека или $\text{м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$.

Для количественной оценки качества воздухообмена (вентиляции) введем коэффициент $K_{\text{во}}$, который принимает единичное значение при кратности воздухообмена большей или равной минимально рекомендуемой $N_{\text{во min}}$ и линейно уменьшается при меньшем воздухообмене. На рис. 1 показана зависимость $K_{\text{во}}$ от кратности воздухообмена $N_{\text{во}}$, которая строится для помещений в зависимости от их назначения и условий эксплуатации:

$$K_{\text{во}} = \begin{cases} 1, & \text{при } N_{\text{во}} \geq N_{\text{во min}}; \\ N_{\text{во}}/N_{\text{во min}}, & \text{при } N_{\text{во}} < N_{\text{во min}}. \end{cases} \quad (1)$$

Оптимальные и допустимые нормы параметров микроклимата, такие как температура, относительная влажность и подвижность воздуха в обслуживаемой зоне жилых зданий, установлены стандартом [7] и приведены в табл. 3.

Для оценки качества микроклимата введем коэффициенты комфорта K_t , K_φ , K_v , которые зависят от температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в помещении. Все коэффициенты принимают значения в диапазоне от нуля до единицы.

Таблица 1

Допустимые значения концентрации углекислого газа в воздухе помещения

Помещения	Допустимые концентрации CO_2	
	по весу, $\text{г}/\text{м}^3$	в % к объему
Для пребывания детей и больных	1,3	0,07
Для продолжительного пребывания людей	1,86	0,1
Для периодического пребывания людей	2,32	0,125
Для кратковременного пребывания людей	3,72	0,2

Таблица 2

Нормы минимального воздухообмена в помещениях жилых зданий

Помещения	Нормы воздухообмена*	Примечания
Жилая зона	Кратность воздухообмена $0,35 \text{ ч}^{-1}$, но не менее $30 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{чел})$	Для расчета расхода воздуха ($\text{м}^3/\text{ч}$) по кратности объем помещений следует определять по общей площади квартиры
	$3 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$ жилых помещений, если общая площадь квартиры меньше $20 \text{ м}^2/\text{чел}$	Квартиры с плотными для воздуха ограждающими конструкциями требуют дополнительного притока воздуха для каминов (по расчету) и механических вытяжек
Кухни	$60 \text{ м}^3/\text{ч}$ при электрической плите	Приточный воздух может поступать из жилых помещений
	$90 \text{ м}^3/\text{ч}$ при 4-х комфорочной газовой плите	
Ванные комнаты, туалеты	$25 \text{ м}^3/\text{ч}$ из каждого помещения	То же
	$50 \text{ м}^3/\text{ч}$ при совмещенном санузле	
Постирочная	Кратность воздухообмена 5 ч^{-1}	То же
Гардеробная, кладовая	Кратность воздухообмена 1 ч^{-1}	То же
Помещение теплогенератора (вне кухни)	Кратность воздухообмена 1 ч^{-1}	То же

* Во время, когда помещение не используется, норму воздухообмена следует уменьшать до следующих величин: в жилой зоне — до $0,2 \text{ ч}^{-1}$; в кухне, ванной комнате, туалете, постирочной, гардеробной, кладовой — до $0,5 \text{ ч}^{-1}$.

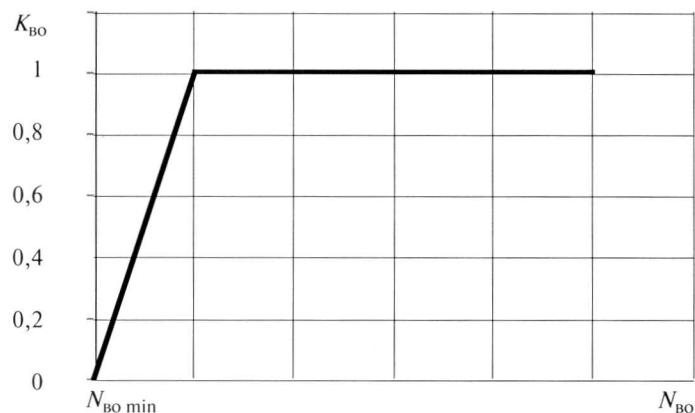


Рис. 1. Зависимость коэффициента качества воздуха от кратности воздухообмена

Коэффициент равен единице, если соответствующий параметр микроклимата находится в диапазоне оптимальных значений, линейно изменяется в диапазоне допустимых значений и равен нулю, если параметр микроклимата выходит из диапазона допустимых значений. Зависимости коэффициентов K_t , K_φ , K_v от параметров микроклимата по данным табл. 3 показаны на рис. 2–4.

$$K_t = \begin{cases} 1 & \text{при } t_{\text{опт min}} < t < t_{\text{опт max}}; \\ \frac{t - t_{\text{доп min}}}{t_{\text{опт min}} - t_{\text{доп min}}} & \text{при } t_{\text{доп min}} < t < t_{\text{опт min}}; \\ \frac{t_{\text{доп max}} - t}{t_{\text{доп max}} - t_{\text{опт max}}} & \text{при } t_{\text{опт max}} \geq t \geq t_{\text{доп max}}; \\ 0 & \text{при } t_{\text{доп min}} > t > t_{\text{доп max}}. \end{cases}$$

$$K_\varphi = \begin{cases} 1 & \text{при } \varphi_{\text{опт min}} < \varphi < \varphi_{\text{опт max}}; \\ \frac{\varphi}{\varphi_{\text{опт min}}} & \text{при } \varphi \leq \varphi_{\text{опт min}}; \\ \frac{\varphi_{\text{доп max}} - \varphi}{\varphi_{\text{доп max}} - \varphi_{\text{опт max}}} & \text{при } \varphi_{\text{опт max}} \geq \varphi \geq \varphi_{\text{доп max}}; \\ 0 & \text{при } \varphi > \varphi_{\text{доп max}}. \end{cases}$$

$$K_v = \begin{cases} 1 & \text{при } v < v_{\text{опт max}}; \\ \frac{v_{\text{доп max}}}{v_{\text{доп max}} - v_{\text{опт max}}} & \text{при } v_{\text{доп max}} \geq v \geq v_{\text{опт max}}; \\ 0 & \text{при } v < v_{\text{доп max}}. \end{cases}$$

Обобщенным критерием качества кондиционирования воздуха может выступать мультипликативный критерий, который объединяет приведенные выше частные критерии:

$$K_K = K_t^{\omega_t}(t) K_\varphi^{\omega_\varphi}(\varphi) K_v^{\omega_v}(v) K_{\text{бо}}^{\omega_{\text{бо}}}(N_{\text{бо}}), \quad (2)$$

где K_K — критерий качества кондиционирования воздуха;

ω_t , ω_φ , ω_v , $\omega_{\text{бо}}$ — весовые коэффициенты соответствующих частных критериев.

Таблица 3

Параметры микроклимата в обслуживаемой зоне жилых зданий

Период года	Наименование помещения	Температура воздуха, °C		Относительная влажность, %		Скорость воздуха, м/с	
		Оптимальная	Допустимая	Оптимальная	Допустимая	Оптимальная, не более	Допустимая, не более
Холодный	Жилая комната	20–22	18–24	45–30	60	0,15	0,2
	То же, в районах с температурой наиболее холодной пятидневки — минус 31 °C и ниже	21–23	20–24	45–30	60	0,15	0,2
	Кухня	19–21	18–26	Не нормировано	Не нормировано	0,15	0,2
	Туалет	19–21	18–26	Не нормировано	Не нормировано	0,15	0,2
	Ванная, совмещенный санузел	24–26	18–26	Не нормировано	Не нормировано	0,15	0,2
Теплый	Жилая комната	22–25	20–28	60–30	65	0,2	0,3

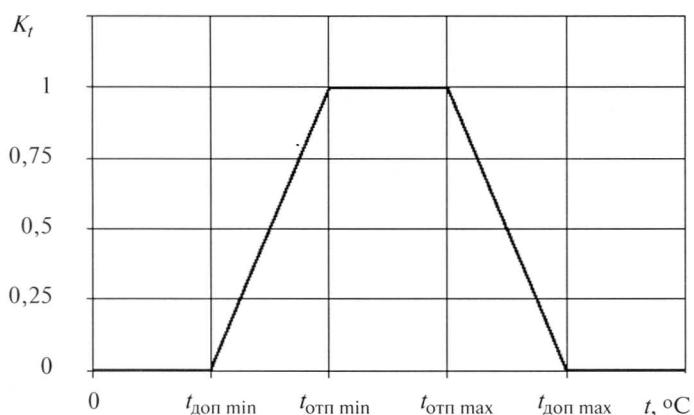


Рис. 2. Зависимость температурного коэффициента микроклимата от температуры

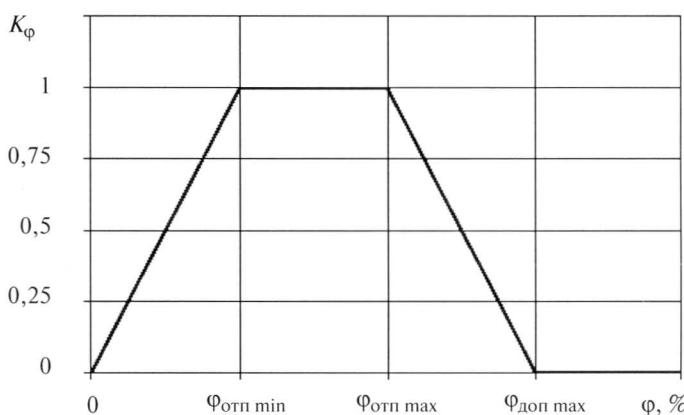


Рис. 3. Зависимость влажностного коэффициента микроклимата от относительной влажности

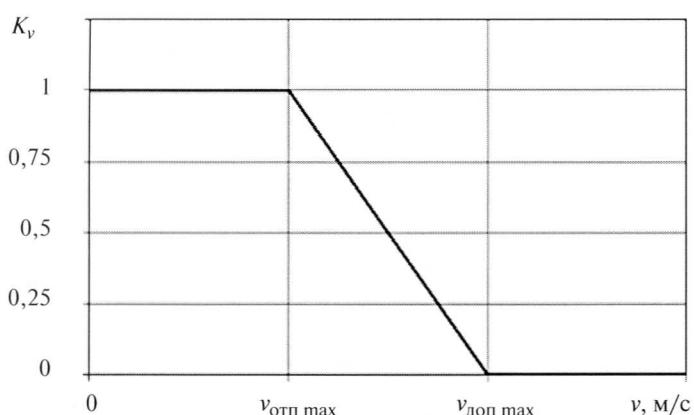


Рис. 4. Зависимость коэффициента подвижности воздуха от скорости

Недостатком мультиплективного критерия является субъективный подход к выбору весовых коэффициентов и возможность взаимной компенсации одними критериями другими. Условие (2), при котором $K_k > 0$, может рассматриваться как необходимое для оптимизации проектного решения. Выполнение этого условия означает,

что система кондиционирования обеспечивает параметры микроклимата, по меньшей мере, в области допустимых значений.

Более предпочтительным обобщенным критерием является максиминный критерий, в качестве целевой функции которого принимается частный критерий, имеющий значение:

$$K_k = \max \min (K_t(t), K_\varphi(\varphi), K_v(v), K_{bo}(N_{bo})). \quad (3)$$

Такой критерий позволяет сформировать систему, которая обеспечивает максимальную близость к оптимальным значениям всех частных критериев качества микроклимата. Предполагается, что все частные критерии, входящие в (3), имеют одинаковые весовые коэффициенты.

Естественным ограничением, которое накладывается на проектные решения, является энергетическое потребление систем. Для оценки качества системы с точки зрения энергопотребления введем коэффициент энергетической эффективности K_s , который в общем случае линейно зависит от энергии потребляемой системой кондиционирования

$$K_{\vartheta} = \frac{P_{\text{доп max}} - P}{P_{\text{доп max}}},$$

здесь $P_{\text{доп max}}$ — максимальное допустимое энергетическое потребление;

P — энергия потребляемая системой кондиционирования.

В качестве общего критерия эффективности системы учитывающего качество воздушной среды и энергетические затраты предлагается использовать аддитивную оценку

$$K_{\Sigma} = \omega_k K_k + \omega_{\vartheta} K_{\vartheta}, \quad (4)$$

где ω_k и ω_{ϑ} — весовые коэффициенты, для которых выполняется условие

$$\omega_k + \omega_{\vartheta} = 1.$$

Таким образом, решение оптимизационной задачи заключается в поиске значений варьируемых параметров, обеспечивающих максимум критерия (4) при выполнении условия (2).

Список литературы

1. Аナンьев В. А., Балуева Д. Н., Гальперин А. Д. и др. Системы вентиляции и кондиционирования. — М.: Евроклимат, 2005.
2. Табунчиков Ю. А. Экологическая безопасность жилища // АВОК. 2007. № 4.
3. Фангер Оле П. Качество внутреннего воздуха в зданиях, построенных в холодном климате и его влияние на здоровье, обучение и производительность труда людей // АВОК. 2006. № 2.
4. Бриганти А. Качество воздуха и вентиляция // АВОК. 2000. № 4.
5. СанПиН 2.1.1002-00. Санитарно-эпидемиологические требования к жилым зданиям и помещениям.
6. Стандарт АВОК-1-2004. Здания жилые и общественные. Нормы воздухообмена. — М.: АВОК-ПРЕСС, 2004.
7. ГОСТ 30494. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.